



**Joana Soares  
Guimarães**

## **A bicicleta como plataforma laboratorial**





**Joana Soares  
Guimarães**

## **A bicicleta como plataforma laboratorial**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestrado em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e de Paulo Alexandre Ferreira Neto Alves Afonso, Professor Coordenador sem Agregação da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Águeda da Universidade de Aveiro.





## **O júri / The jury**

Presidente / President

**Prof. Doutor José Paulo Oliveira Santos**

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

**Prof.<sup>a</sup> Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho**

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro (orientadora)

**Prof.<sup>a</sup> Doutora Anabela Salgueiro Narciso Ribeiro**

Professora Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra



## Agradecimentos / Acknowledgements

Gostaria de destinar este espaço a todos aqueles que de uma forma direta ou indireta contribuíram para o meu sucesso na conclusão desta etapa da minha vida. A todos eles expresso a minha imensa gratidão.

Em primeiro lugar à Professora Doutora Margarida Coelho e ao Professor Doutor Paulo Afonso, pela orientação ao longo de todo este período, rigor, empenho e dedicação, pelo vasto conhecimento transmitido, pela constante motivação que me transmitiram e ideias sugeridas. Foi um prazer trabalhar com esta excelente equipa de orientação.

Aos meus pais e família pelo total apoio e força que me deram desde sempre e que foi crucial para alcançar mais este desafio que foi a conclusão deste curso. Aos meus amigos, de longa data e aos que fui conhecendo ao longo do curso, por todos os momentos que estiveram ao meu lado, nos bons e maus momentos. Ajudaram-me a crescer e aprendemos muito juntos, sem eles não seria a pessoa que sou hoje. Um sincero obrigado a cada um deles.

Ao meu primo André Resende por ter disponibilizado o *garmin edge* 500 para a monitorização experimental e por mostrar-se sempre disponível a ajudar no que fosse preciso.

À Órbita Bicicletas Portuguesas, Lda, pela doação da bicicleta à Universidade de Aveiro para a realização da monitorização experimental.



## Palavras-chave

bicicleta; plataforma laboratorial; *smartphone*; *android*; sensores; monitorização

## Resumo

O setor dos transportes é atualmente um dos principais consumidores de energia a nível mundial. São múltiplas as estratégias implementadas neste setor com o intuito de minimizar os danos energéticos e ambientais causados. Além destes impactos, a excessiva dependência do transporte individual motorizado contribui para o sedentarismo.

Nos últimos anos, têm existido incentivos à utilização de modos suaves, nomeadamente andar a pé e de bicicleta. Em particular, a bicicleta é um meio de transporte ecológico viável para pequenas e médias distâncias. Assim, considera-se de grande interesse o estudo da bicicleta como meio de transporte em cidades onde as condições são favoráveis, nomeadamente ao nível da orografia do terreno e clima.

A presente dissertação surge com o objetivo de criar uma plataforma laboratorial 'on-road' para monitorizar percursos cicláveis na cidade de Aveiro. Para o efeito foi desenvolvida uma aplicação *android* para *smartphone* para servir de interface entre o condutor e o protótipo de sensores instalados na bicicleta. Foi utilizado também o dispositivo *garmin edge* 500 para comparar os resultados obtidos com os sensores. Finalmente, foi igualmente instalada uma câmara de filmar na bicicleta, de modo a captar o ambiente de tráfego circundante, aquando da circulação em bicicleta. Os percursos monitorizados consistiram em 3 opções para viajar entre a estação de comboios e a Universidade de Aveiro.

Com os resultados obtidos foi possível obter perfis de velocidade e altitude, perfis de aceleração segundo os três eixos e ângulo de rotação segundo os eixos X e Y. Realizada a análise e discussão dos resultados verifica-se que ao circular no percurso C, tem-se maior tempo de viagem e maior número de paragens comparativamente com os restantes percursos analisados. Ao viajar pelo percurso B verifica-se um menor tempo de viagem e número de paragens. O percurso C é o que apresenta uma maior diferença entre as altitudes máximas e mínimas registadas, sendo o percurso A o que indica menor diferença. É também o percurso C que apresenta, no geral, maiores valores de aceleração, o que pode indicar uma condução mais agressiva, sendo portanto menos seguro que os restantes percursos. Com o trabalho realizado observa-se que o percurso mais viável para realizar a viagem da estação de Aveiro à Universidade em bicicleta é o percurso B.



**Keywords**

bicycle; laboratory platform; smartphone, android; sensors; monitoring

**Abstract**

The transportation sector is currently one of the major energy consumers worldwide. There are multiple strategies implemented in this sector in order to minimize the energy and environmental damage. In addition to these impacts, excessive dependence on individual motorized transport contributes to the population sedentary lifestyle.

There have been several incentives to use soft modes, including walking and cycling. In particular, bicycle is an ecological and viable transport mode for short and medium distances. Thus there is an interest to study biking in cities where conditions are favorable, particularly in terms of the land orography and climate.

The main objective of this dissertation is the creation of an 'on-road' laboratory platform to monitor bike paths in the city of Aveiro. For this purpose an android application for smartphone was developed, in order to provide an interface between the driver and the prototype sensors installed on the bike. The garmin edge 500 device was also used to compare the results obtained from the sensors. Finally, a video camera was installed on the bike in order to capture the traffic environment recorded during bike trips. The monitored pathways were three options for traveling between the train station and the University of Aveiro.

Speed and altitude profiles, acceleration profiles according to the three axes and rotation angle in the X and Y axes from the monitoring campaign were obtained. Route C has the largest travel time and higher number of stops compared to the other analyzed routes. To travel route B travel time and number of stops are lower. Path C is the one with a greater difference between the maximum and minimum altitudes recorded, and the route A which indicates the smallest difference. Also route C is the one with the higher acceleration values, which may indicate a more aggressive driving and, therefore, can be considered less secure than the remaining pathways. With this work it may be concluded that the most viable way to make the trip from Aveiro station to the University by bike is through route B.





# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Motivação . . . . .	1
1.1.1	O ambiente ciclável - Infraestruturas . . . . .	5
1.1.2	O ambiente ciclável - Orografia . . . . .	8
1.1.3	O ambiente ciclável - Clima e condições meteorológicas . . . . .	9
1.2	Objetivos . . . . .	10
1.3	Estrutura da Dissertação . . . . .	10
<b>2</b>	<b>Estado de Arte</b>	<b>13</b>
2.1	Investigação relacionada com o utilizador de bicicleta . . . . .	13
2.2	Investigação relacionada com bicicletas instrumentadas . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Metodologia e Métodos</b>	<b>19</b>
3.1	Aplicação <i>android</i> para <i>smartphone</i> . . . . .	20
3.2	Material de monitorização . . . . .	25
3.2.1	Laboratório de sensores . . . . .	25
3.2.2	Outros equipamentos . . . . .	29
3.3	Monitorização experimental . . . . .	32
3.3.1	Bicicleta equipada . . . . .	32
3.3.2	Percursos . . . . .	35
3.3.3	Condições de condução . . . . .	37
<b>4</b>	<b>Resultados e Discussão</b>	<b>39</b>
4.1	Perfil de velocidade . . . . .	39
4.2	Perfil de altitude . . . . .	45
4.3	Perfil de aceleração . . . . .	49
4.4	Perfil de ângulo de rotação . . . . .	54
4.5	Conflitos detetados durante as monitorizações experimentais . . . . .	58
4.6	Síntese de Resultados . . . . .	61
<b>5</b>	<b>Conclusões</b>	<b>65</b>
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>67</b>
	<b>Anexos</b>	<b>73</b>



# Lista de Tabelas

3.1	Calendarização da dissertação . . . . .	20
3.2	Especificações técnicas do dispositivo móvel utilizado [47] . . . . .	29
3.3	Caraterísticas da bicicleta [54] . . . . .	31
3.4	Caraterísticas dos percursos monitorizados . . . . .	35
4.1	Características da viagem - Percurso A . . . . .	40
4.2	Características da viagem - Percurso B . . . . .	41
4.3	Características da viagem - Percurso C . . . . .	42
4.4	Valores de referência para aceleração e desaceleração em bicicleta [61] . . . . .	49
4.5	Análise tri-axial da aceleração . . . . .	50
4.6	Análise bi-axial do ângulo de rotação . . . . .	55
4.7	Resumo da análise dos perfis de altitude . . . . .	62
4.8	Resumo da análise dos perfis de aceleração . . . . .	63



# Lista de Figuras

1.1	Consumo final de energia por setor na UE para o ano 2012 [1]	1
1.2	Quota dos modos de transporte na realização de viagens pendulares em Portugal (fonte: Censos 2011) [7]	3
1.3	Venda de bicicletas na Europa (1.000 unidades) 2000-2013 [8]	4
1.4	Altimetria, declive médio e quota de utilização da bicicleta de Portugal Continental [7]	8
1.5	Evolução da percentagem populacional que responderam "bicicleta" à pergunta do Eurobarómetro: "Num dia típico, qual o modo de transporte que usa mais frequentemente?" [5]	9
1.6	Fluxograma da estrutura da dissertação	11
3.1	Fluxograma da metodologia seguida	19
3.2	Top 5 para o sistema operacional para <i>smartphones</i> [41]	21
3.3	Aplicação <i>android</i> para <i>smartphone</i>	23
3.4	Arquitetura da <i>app</i> desenvolvida	24
3.5	Laboratório de sensores para monitorização	25
3.6	GPS <i>Standalone Module</i> FGPMMPA6H [48]	26
3.7	Módulo <i>bluetooth</i> HC-05 [49]	26
3.8	Módulo giroscópio + acelerómetro: GY-521 MPU 6050 [50]	27
3.9	Micro-controlador PIC18(L)F2X/4XK22 [51]	28
3.10	Placa USB D-SUN USB To TTL [52]	28
3.11	Dispositivo móvel utilizado [47]	29
3.12	<i>Garmin edge</i> 500 e acessórios [53]	30
3.13	Bicicleta cidadina de senhora Classe S S26.22119 [54]	31
3.14	Bicicleta equipada	32
3.15	Bicicleta equipada - sensores instalados	33
3.16	Bicicleta equipada - <i>smartphone</i> , <i>garmin edge</i> e câmara de filmar	33
3.17	Bicicleta equipada	34
3.18	Durante as monitorizações experimentais	34
3.19	Percursos A, B e C [55]	36
3.20	Pistas destinadas ao ciclista	37
4.1	Perfil de velocidade - Percurso A	40
4.2	Perfil de velocidade - Percurso B	41
4.3	Perfil de velocidade - Percurso C	42
4.4	Perfil de velocidade - Percurso A vs <i>Garmin Edge</i>	43
4.5	Perfil de velocidade - Percurso B vs <i>Garmin Edge</i>	43

4.6	Perfil de velocidade - Percurso C vs <i>Garmin Edge</i> . . . . .	43
4.7	Erro associado à leitura GPS horizontal (latitude e longitude) [59] . . . . .	44
4.8	Perfil de altitude dos percursos A, B e C . . . . .	47
4.9	Perfil de altitude do GPS <i>Visualizer</i> dos percursos A, B e C [60] . . . . .	48
4.10	Aceleração - Percurso A . . . . .	52
4.11	Aceleração - Percurso B . . . . .	53
4.12	Aceleração - Percurso C . . . . .	54
4.13	Perfil de Ângulo de rotação - Percurso A . . . . .	56
4.14	Perfil de Ângulo de rotação - Percurso B . . . . .	57
4.15	Perfil de Ângulo de rotação - Percurso C . . . . .	58
4.16	Veículo ligeiro estacionado indevidamente na ciclofaixa - Percursos A e B .	59
4.17	Estacionamento de um veículo pesado de passageiros para saída de passa- geiros na ciclofaixa - Percursos A e B . . . . .	59
4.18	Estacionamento de um veículo ligeiro na ciclofaixa da rotunda no final da Avenida Artur Ravara - Percursos A e B . . . . .	60
4.19	Presença de peões na ciclovía - Percurso C . . . . .	60
4.20	Estacionamento de veículos na ciclovía - Percurso C . . . . .	61
4.21	Elevado tráfego na rotunda da Rua Viana do Castelo - Percurso C . . . . .	61
4.22	Curvas de velocidade correspondentes aos percursos A, B e C . . . . .	62
A.1	Perfil de velocidade - Percurso A (Teste 1) . . . . .	73
A.2	Perfil de velocidade - Percurso A (Teste 2) . . . . .	73
A.3	Perfil de velocidade - Percurso A (Teste 3) . . . . .	74
A.4	Perfil de velocidade - Percurso A (Teste 4) . . . . .	74
A.5	Perfil de velocidade - Percurso A (Teste 6) . . . . .	74
A.6	Perfil de velocidade - Percurso A vs <i>Garmin Edge</i> (Teste 1) . . . . .	75
A.7	Perfil de velocidade - Percurso A vs <i>Garmin Edge</i> (Teste 2) . . . . .	75
A.8	Perfil de velocidade - Percurso A vs <i>Garmin Edge</i> (Teste 3) . . . . .	75
A.9	Perfil de velocidade - Percurso A vs <i>Garmin Edge</i> (Teste 4) . . . . .	76
A.10	Perfil de velocidade - Percurso A vs <i>Garmin Edge</i> (Teste 6) . . . . .	76
A.11	Perfil de velocidade - Percurso B (Teste 1) . . . . .	76
A.12	Perfil de velocidade - Percurso B (Teste 2) . . . . .	77
A.13	Perfil de velocidade - Percurso B (Teste 3) . . . . .	77
A.14	Perfil de velocidade - Percurso B (Teste 4) . . . . .	77
A.15	Perfil de velocidade - Percurso B (Teste 6) . . . . .	78
A.16	Perfil de velocidade - Percurso B vs <i>Garmin Edge</i> (Teste 1) . . . . .	78
A.17	Perfil de velocidade - Percurso B vs <i>Garmin Edge</i> (Teste 2) . . . . .	78
A.18	Perfil de velocidade - Percurso B vs <i>Garmin Edge</i> (Teste 3) . . . . .	79
A.19	Perfil de velocidade - Percurso B vs <i>Garmin Edge</i> (Teste 4) . . . . .	79
A.20	Perfil de velocidade - Percurso B vs <i>Garmin Edge</i> (Teste 6) . . . . .	79
A.21	Perfil de velocidade - Percurso C (Teste 1) . . . . .	80
A.22	Perfil de velocidade - Percurso C (Teste 2) . . . . .	80
A.23	Perfil de velocidade - Percurso C (Teste 3) . . . . .	80
A.24	Perfil de velocidade - Percurso C (Teste 4) . . . . .	81
A.25	Perfil de velocidade - Percurso C (Teste 6) . . . . .	81
A.26	Perfil de velocidade - Percurso C vs <i>Garmin Edge</i> (Teste 1) . . . . .	81
A.27	Perfil de velocidade - Percurso C vs <i>Garmin Edge</i> (Teste 2) . . . . .	82

A.28 Perfil de velocidade - Percurso C vs <i>Garmin Edge</i> (Teste 3)	82
A.29 Perfil de velocidade - Percurso C vs <i>Garmin Edge</i> (Teste 4)	82
A.30 Perfil de velocidade - Percurso C vs <i>Garmin Edge</i> (Teste 6)	83
A.31 Perfil de altitude - Percurso A (Teste 1)	83
A.32 Perfil de altitude - Percurso A (Teste 2)	83
A.33 Perfil de altitude - Percurso A (Teste 3)	84
A.34 Perfil de altitude - Percurso A (Teste 4)	84
A.35 Perfil de altitude - Percurso A (Teste 6)	84
A.36 Perfil de altitude - Percurso B (Teste 1)	85
A.37 Perfil de altitude - Percurso B (Teste 2)	85
A.38 Perfil de altitude - Percurso B (Teste 3)	85
A.39 Perfil de altitude - Percurso B (Teste 4)	86
A.40 Perfil de altitude - Percurso B (Teste 6)	86
A.41 Perfil de altitude - Percurso C (Teste 1)	86
A.42 Perfil de altitude - Percurso C (Teste 2)	87
A.43 Perfil de altitude - Percurso C (Teste 3)	87
A.44 Perfil de altitude - Percurso C (Teste 4)	87
A.45 Perfil de altitude - Percurso C (Teste 6)	88
A.46 Aceleração - Percurso A (Teste 1)	89
A.47 Aceleração - Percurso A (Teste 2)	90
A.48 Aceleração - Percurso A (Teste 3)	91
A.49 Aceleração - Percurso A (Teste 4)	92
A.50 Aceleração - Percurso A (Teste 6)	93
A.51 Aceleração - Percurso B (Teste 1)	94
A.52 Aceleração - Percurso B (Teste 2)	95
A.53 Aceleração - Percurso B (Teste 3)	96
A.54 Aceleração - Percurso B (Teste 4)	97
A.55 Aceleração - Percurso B (Teste 6)	98
A.56 Aceleração - Percurso C (Teste 1)	99
A.57 Aceleração - Percurso C (Teste 2)	100
A.58 Aceleração - Percurso C (Teste 3)	101
A.59 Aceleração - Percurso C (Teste 4)	102
A.60 Aceleração - Percurso C (Teste 6)	103
A.61 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso A (Teste 1)	104
A.62 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso A (Teste 2)	105
A.63 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso A (Teste 3)	106
A.64 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso A (Teste 4)	107
A.65 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso A (Teste 5)	108
A.66 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso A (Teste 6)	109
A.67 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso B (Teste 1)	110
A.68 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso B (Teste 2)	111
A.69 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso B (Teste 3)	112
A.70 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso B (Teste 4)	113
A.71 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso B (Teste 5)	114
A.72 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso B (Teste 6)	115
A.73 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso C (Teste 1)	116
A.74 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso C (Teste 2)	117

A.75 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso C (Teste 3)	118
A.76 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso C (Teste 4)	119
A.77 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso C (Teste 5)	120
A.78 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso C (Teste 6)	121
A.79 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso A (Teste 1)	122
A.80 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso A (Teste 2)	123
A.81 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso B (Teste 2)	124
A.82 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso B (Teste 3)	125
A.83 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso C (Teste 1)	126
A.84 Perfil de Ângulo de rotação - Percurso C (Teste 2)	127



# Acrónimos

**PIB** Produto Interno Bruto

**CO<sub>2</sub>** Dióxido de carbono

**EMTA** European Metropolitan Transport Authorities

**Csa** Clima inverno chuvoso e verão seco e quente

**Csb** Clima inverno chuvoso e verão seco e pouco quente

**IPB** Instrumented Probe Bicycle

**GPS** Sistema de Posicionamento Global

**QML** Qt Meta-objects Language

**app** Aplicação móvel

**Qt Quick** Qt User Interface Creation Kit

**CCS** Cascading Style Sheets

**TTFF** Instant Fix Time-toFirst

**DMP** Digital Motion Processor

**PIO** Programable Input/output line

**UART** Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

**RISC** Reduced Instruction Set Computer

**EEPROM** Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory

**SPI** Serial Peripheral Interface

**I<sup>2</sup>C** Inter-Integrated Circuit



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Motivação

Ao longo do tempo foram várias as formas de locomoção descobertas e inventadas pelo Homem, desde transportes de tração humana e animal até aos veículos motorizados. Desde então a tecnologia avança em paralelo com a evolução dos meios de transporte facilitando cada vez mais o exercício de locomoção da espécie humana. No entanto, a evolução dos meios de transportes e a sua excessiva utilização contribuiu para que hoje seja um dos setores que mais energia consome do tipo fóssil, cerca de 32% do consumo final de energia na Europa, como se pode observar na figura 1.1.

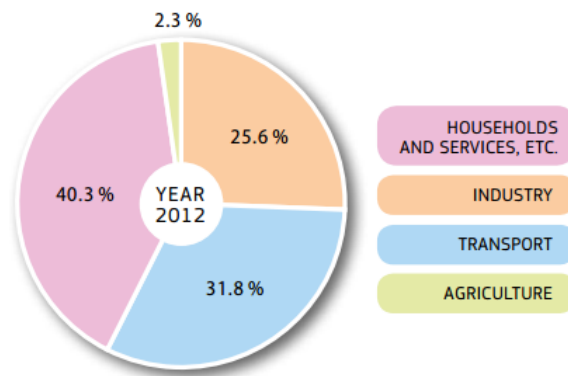


Figura 1.1: Consumo final de energia por setor na UE para o ano 2012 [1]

Os transportes são fundamentais para a economia e sociedade sendo que a mobilidade é crucial em termos de crescimento e criação de emprego. O setor dos transportes representa aproximadamente 10 milhões de postos de trabalho diretos e cerca de 5% do produto interno bruto (PIB) da Europeu [2].

Além da dependência dos combustíveis fósseis, o investimento em infraestruturas é cada vez maior, contribuindo para um aumento do espaço de circulação rodoviário e uma diminuição dos espaços verdes e pedonais nas cidades. Em Portugal contabilizaram-se cerca de 6,8 milhões de veículos em 2013 [3], 2.737 km de autoestradas e 13.441 km de rede viária no final do ano de 2011 [1]. A dependência do automóvel implica um aumento

do sedentarismo, o que pode conduzir a eventuais problemas de saúde, nomeadamente problemas respiratórios, comprometendo a qualidade de vida da população.

Várias inovações têm sido implementadas de modo a contrariar os danos energéticos e ambientais causados por este setor. Os combustíveis por sua vez também têm evoluído de modo a proporcionarem um melhor desempenho reduzindo simultaneamente o impacto no meio ambiente. Mas isto não é suficiente, são necessárias novas abordagens. Sendo as cidades o foco da distribuição populacional, é aqui onde se centra um dos maiores impactos da utilização excessiva de veículos, o congestionamento. Deste modo dada a conjuntura atual em Portugal, a mobilidade ciclável torna-se uma opção cada vez mais interessante, nomeadamente para trajetos de curtas distâncias. Posto isto, a bicicleta torna-se num meio de transporte capaz de minimizar os danos do problema em questão.

A bicicleta é um meio de transporte ecológico alternativo que é viável para pequenas e médias distâncias, e quando integrada numa estratégia multimodal, pode ser uma opção consistente para a mobilidade, contribuindo para a democratização da utilização da via pública, reduzindo os custos dos transportes, com benefícios para a saúde pública e para o meio ambiente. Além disso, atualmente existe um maior interesse nas deslocações feitas em bicicleta e um esforço para lançar bicicletas mais atrativas no mercado. Todavia, a orografia de muitas regiões dificulta a utilização da bicicleta, e não é de estranhar que em cidades muito acidentadas se tenham naturalmente taxas de utilização reduzidas.

Sendo a bicicleta e o andar a pé os meios de transporte mais eficientes, seguidos do comboio, do metro e do autocarro, o automóvel encontra-se na posição menos eficiente, consumindo mais energia por passageiro/km do que os modos suaves ou os transportes públicos. É necessário ter em atenção que os vários meios de transporte têm diferentes eficiências energéticas. Considerando um mesmo consumo (1 megajoule (MJ)), as distâncias percorridas são diferentes. O meio com maior eficiência energética é a bicicleta, dado que com 1 MJ um passageiro pode percorrer cerca de 17 km. Com a mesma energia, uma deslocação a pé pode atingir mais de 6 km e em transportes coletivos é possível, em média, percorrer uma distância de 2 km [4]. Na comparação das emissões de  $CO_2$ , produzidas num percurso de 1 km, o automóvel em meio urbano é o que produz mais emissões de  $CO_2$  (uma média de 170,7 g/pass.km), considerando uma taxa de ocupação de 26% da sua lotação total. Nos transportes coletivos, o autocarro em meio urbano, com uma taxa de ocupação de 21%, é o meio que apresenta maiores emissões de  $CO_2$  (79,9 g/pass.km). Os modos suaves, ambientalmente sustentáveis, não apresentam emissões locais de  $CO_2$  [4]. Mas, tendo em conta o ciclo de vida completo destes meios de transportes, as emissões de  $CO_2$  são aproximadamente 21 g/pass.km numa viagem de bicicleta (22 g/pass.km para bicicleta elétrica); viajar num veículo ligeiro de passageiros corresponde em média a 271 g/pass.km e para o autocarro 101 g/pass.km [5].

Diversos estudos internacionais demonstram que o modo pedonal é o mais eficiente nas deslocações até 1 km, enquanto a bicicleta é a opção mais competitiva nas deslocações até 4 km, sendo um modo mais rápido do que o transporte individual, mesmo quando se considera o tempo de acesso até ao veículo e o tempo despendido na procura de estacionamento. Atendendo a que, tipicamente, cerca de 50% dos trajetos urbanos têm menos de 3 km, é possível concluir que os modos suaves podem representar uma alternativa viável aos modos motorizados em muitas deslocações [4].

Na Europa a utilização de modos de transporte sustentáveis (andar a pé, de bicicleta

e de transportes públicos) prevalece dentro das cidades principais ao invés das áreas metropolitanas. No geral, a contribuição destes modos, nas cidades e nas áreas metropolitanas está a aumentar ao longo do tempo, de acordo com os números revelados pela *EMTA* (*European Metropolitan Transport Authorities*). No período de 2009 a 2011, andar a pé e de bicicleta aumentou consideravelmente em certas cidades. Por exemplo, em Estocolmo modos não motorizados aumentou de 34,0% em 2009 para 44,6% em 2011 e na região de Ile-de-France (que inclui Paris) passou de 50,0% para 55,4%. Para as áreas metropolitanas verifica-se um aumento da utilização dos modos suaves de cerca de 6% para Paris e 7% para Amesterdam no mesmo período de tempo. A utilização de transporte motorizado diminuiu durante o mesmo período, sugerindo que alguns utilizadores de automóveis mudaram para os modos não motorizados [6].

Uma análise preliminar aos resultados dos censos realizados em 2011 em Portugal, aponta para uma quota global de, aproximadamente, 0,5% do modo ciclável na realização de deslocações de carácter pendular (figura 1.2) [7].

Em Portugal Continental, do total de 5,6 milhões de residentes que realizam viagens deste tipo, apenas 30 mil o fazem com recurso à bicicleta. O meio de transporte mais utilizado é, de longe, o automóvel como condutor ou passageiro, representando cerca de 61,6% do total. Segue-se o transporte coletivo (nos vários modos) com 20% e o modo pedonal com 16,4%. Juntos, estes três modos agregam 98% das opções de transporte para a realização de deslocações pendulares.

Os restantes 2% distribuem-se pelo motociclo com 1,2%, bicicleta com 0,5% e outros com 0,3% [7].

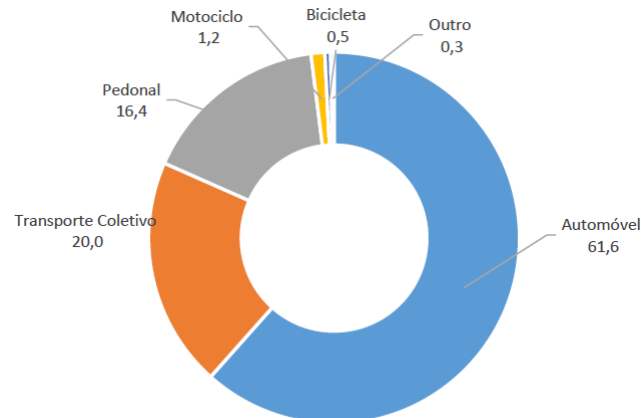


Figura 1.2: Quota dos modos de transporte na realização de viagens pendulares em Portugal (fonte: Censos 2011) [7]

É do senso comum que a escolha da bicicleta como meio de transporte é pouco evidenciada no território nacional, principalmente em meio urbano. Confirma-se que a grande maioria dos percursos cicláveis existentes são destinados ao desporto e lazer, principalmente em zonas de interesse turístico e de paisagem natural. Contudo, nos últimos anos começou a observar-se um desenvolvimento crescente de projetos municipais de promoção e implementação de ciclovias visando suportar também as deslocações quotidianas em bicicleta. Diretamente relacionado com a adoção da bicicleta como meio de transporte,

está o setor de fabrico e vendas de bicicletas. A média de vendas de bicicletas na UE28 registou um aumento no período entre 2001 e 2007, tendo, neste ano, apresentado um valor superior aos 21 milhões. Na figura 1.3 é perceptível a evolução de venda de bicicletas na Europa entre 2000 e 2013 [8].

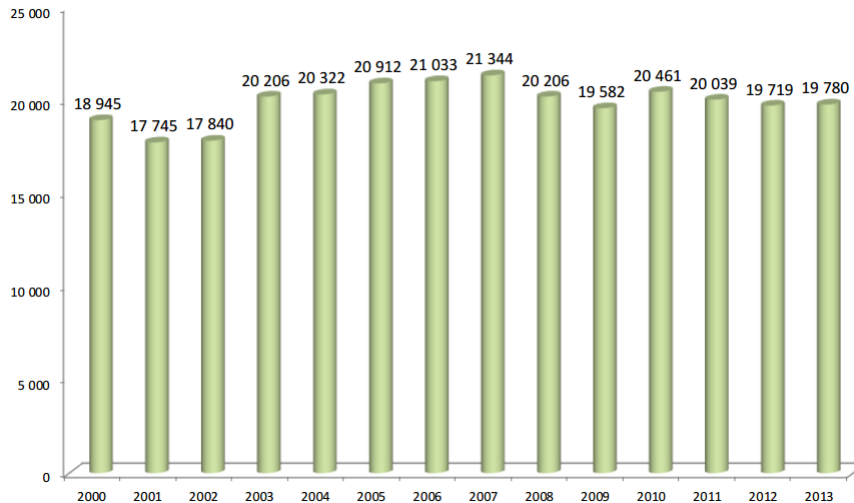


Figura 1.3: Venda de bicicletas na Europa (1.000 unidades) 2000-2013 [8]

Em Portugal registam-se valores de 330.000 bicicletas vendidas em 2010 [9]; 320.000 em 2011 [10]; 350.000 em 2012 [11] e 333.000 unidades em 2013 [8]. Portugal ocupa assim em 2013 o 13º lugar no ranking da venda de bicicletas na Europa 27 [8].

Os principais benefícios da utilização da bicicleta são inúmeros, a destacar[4]:

- Maior eficiência do sistema de transportes: tendo em conta que a maior parte dos trajetos urbanos são inferiores a 3 km, a bicicleta revela-se uma excelente opção de transporte;
- Melhoria na saúde: a prática de exercício físico regular, como andar de bicicleta contribuiu para o bem-estar físico e mental da população, com reflexos positivos nos custos de saúde individuais e coletivos;
- Vantagens económicas: redução do número de horas de trabalho perdidas no congestionamento, redução do consumo energético, redução das despesas médicas, obtenção de ganhos no orçamento familiar, tendo em conta os custos de aquisição, manutenção e circulação reduzidos que acarretam a bicicleta;
- Vantagens sociais: a bicicleta não requer uma difícil aprendizagem ou ensino especializado;

Apesar das vantagens descritas, existem alguns pontos desfavoráveis que devem ser repensados de forma a minimizar a influência dissuasora que podem ter sobre os utilizadores de bicicleta, como [4]:

- Padrão de ocupação territorial: inexistência de redes de percursos cicláveis adequados e seguros; falta de iluminação nesses percursos; falta de estacionamento seguro para bicicletas junto aos locais de trabalho, comércio e residência, bem como nas interfaces de transportes públicos, falta de apoio logístico para ciclistas nas empresas e nas escolas, como cacifos e balneários;
- Segurança: o sentimento de insegurança é apontado como um dos fatores que mais condicionam a utilização da bicicleta e está relacionado com o risco de acidente associado à percepção de falta de segurança no meio rodoviário. No entanto, a insegurança rodoviária é tanto maior quanto maior o volume de tráfego motorizado e a sua velocidade.
- Intermodalidade: a legislação portuguesa não permite a colocação de suportes exteriores para bicicletas em autocarros, existe um elevado grau de incerteza e falta de regras claras para o transporte de bicicletas, a possibilidade dos ciclistas se fazerem acompanhar das bicicletas em transportes públicos é muitas vezes restrita a determinados operadores;
- Fatores naturais: o clima (temperatura, pluviosidade e vento) pode constituir um obstáculo à maior utilização dos modos suaves. Em Portugal o clima ameno é adequado para a utilização da bicicleta na maior parte dos meses do ano;
- Questões comportamentais: em Portugal, andar de bicicleta ou a pé ainda poderá ser associado a uma situação de baixo nível socioeconómico; por outro lado, a posse e o uso do automóvel particular é associado ao desenvolvimento e ao bem estar social e económico;

Alguns estudos detetam fatores comportamentais que influenciam a escolha da bicicleta como meio de transporte, assim como da rota escolhida. Sabe-se que aspetos socioeconómicos, uso e ocupação do solo, tempo de viagem, a existência de vias segregadas, entre outras características, podem servir para determinar a maior ou menor propensão ao uso da bicicleta [12]. Nas secções seguintes detalham-se alguns dos fatores analisados.

### 1.1.1 O ambiente ciclável - Infraestruturas

O ambiente ciclável é todo o ambiente envolvente da bicicleta, e deve ser interpretado como o nível de facilidade com que se deparam os utilizadores de bicicleta na realização dos seus trajetos [7]. São vários os fatores que constituem o ambiente ciclável, considerando não só o espaço físico para a circulação deste meio de transporte, mas também a influência das condições atmosféricas.

Uma das principais razões que contribui para não se utilizar a bicicleta resulta na sensação de insegurança oferecida pelas infraestruturas existentes, nomeadamente no que concerne à ausência de uma infraestrutura dedicada ou à falta da adoção de técnicas de acalmia de tráfego que promovam a compatibilização da utilização dos espaços urbanos pelos diversos utentes [13].

Nas últimas décadas as cidades portuguesas tornaram-se reféns do automóvel que, com o aumento sistemático da sua utilização, invadem diariamente todos os recantos

das nossas metrópoles, não só as faixas de rodagem, como os locais de estacionamento e muitas vezes até os locais próprios para a deslocação pedonal, contribuindo para uma degradação da qualidade de vida dos cidadãos.

De forma a contrariar a ocupação excessiva de veículos motorizados nas zonas urbanas, é necessário que sejam implementadas medidas de forma a garantir condições para os transportes de modo suave. Apesar da bicicleta ser um meio de transporte bastante versátil, pequeno, fácil de transportar e que necessita de pouco espaço aquando do seu estacionamento, é também um meio de transporte onde o utilizador pode por vezes considerar-se numa posição de fragilidade e insegurança, visto que a bicicleta não é dotada de um suporte de proteção total como no caso do automóvel, por exemplo.

Está comprovado que a melhoria das condições físicas para a circulação de ciclistas aliada a uma integração bem planeada com autocarros, metro e comboio, poderá encorajar muitas pessoas para o uso deste meio de transporte. Em Portugal é muitas vezes desvalorizada a prioridade de investimento em infraestruturas de apoio ao ciclista, alegando-se que isso ocuparia parte do espaço destinado aos automóveis e por não haver quantidade de ciclistas que o justifique. Aponta-se, ainda, a inviabilidade do uso da bicicleta num relevo acidentado e um clima agreste, o que não ocorre em outras cidades Europeias com condições idênticas ou piores que as nacionais, e que usufruem do uso da bicicleta com muito sucesso entre os seus habitantes [14].

A adoção de medidas de segurança, de conveniência e de apoio ao ciclista revelam-se essenciais à promoção do uso deste meio de transporte. Desta forma, vários autores realizaram estudos sobre as infraestruturas e características naturais do terreno (orografia) que influenciam o transporte diário em bicicletas. A promoção da utilização da rede ciclável passa em grande medida por salvaguardar 5 princípios fundamentais [15]:

- Coerência e acessibilidade: A rede ciclável do centro urbano deve ligar todas as interfaces, e estes aos principais pólos de interesse, sejam eles espaços de lazer, zonas comerciais ou de serviço, interfaces modais, escolas, bibliotecas, museus, centros históricos, entre muitos outros. Nela, deve ser expectável que o ciclista não sinta qualquer dificuldade em orientar-se até chegar ao seu destino, mesmo com ajuda de sinalização adequada para o efeito, se necessário;
- Minimização da extensão dos percursos: O desenvolvimento da rede ciclável será tanto mais atrativa quanto melhor seja a sua ligação entre os principais pontos de interesse com percursos pouco extensos;
- Continuidade: Toda a via ciclável constituir-se-á tanto mais atrativa quanto menos e menores forem as suas descontinuidades. Sempre que a relação custo benefício seja favorável, dever-se-á eliminar as quebras de itinerários, em especial as que apresentem para o utente motivos de insegurança e desconforto;
- Atratividade e conforto: A garantia do conforto de circulação passa por limitar o número de pontos onde o ciclista deve ceder o direito de passagem, aceitando rácios de 1 paragem por cada 1 ou 2 km consoante se trate de uma via principal ou secundária. Acrescente-se, ainda, como fatores de conforto e atratividade a separação da rede ciclável das vias do tráfego automóvel; uma geometria assertiva dos percursos, de modo a possibilitar condições de circulação suave, sem rampas e/ou descidas acentuadas, nem curvas apertadas; por fim, optar sempre que possível por zonas verdes e agradáveis ou monumentais;



- **Segurança:** A segurança é talvez o principal fator a ter em conta ao longo de toda a ciclovia. Para tal, esta deve ser, tanto quanto possível, segregada do tráfego rodoviário, sobretudo se este for intenso; mas no caso de vias partilhadas, devem ser minimizados os pontos de conflito entre os diversos utilizadores, impondo-se rigorosa contenção de velocidade;

A maioria dos utilizadores de bicicleta optam por pistas regulares, partilhando o espaço com veículos ligeiros, pesados e motociclos. Isso torna o uso da bicicleta um desafio grande, mas esse problema não é recente. A falta de pavimentação, ou vias em paralelo, dificultavam o uso da bicicleta. Com isso, não demorou muito tempo para que surgissem movimentos para separar ciclistas do resto do trânsito.

Diferentes tipos de vias especiais foram criadas, algumas dentro ou próximas às vias principais, outras independentes delas. Segue-se resumidamente os vários tipos de infra-estruturas destinadas para o transporte em bicicleta, segundo a bibliografia consultada [16]:

- **Ciclovias:**

As ciclovias são vias exclusivas para ciclistas, separadas fisicamente das vias de veículos por canteiros, passeios, muros ou outras estruturas físicas que promovem a separação destas vias. Nas ciclovias é proibida a circulação de veículos motorizados assim como de peões, garantindo que o ciclista pedale com tranquilidade e segurança.

- **Ciclofaixas:**

Estas vias não possuem uma separação física das vias rodoviárias. Geralmente são demarcadas e sinalizadas, o piso é normalmente pintado de cor diferente (vermelho alaranjado). A sua largura varia, conforme o espaço urbano disponível, mas normalmente tomam dimensões entre 1,2 e 1,5 metros sendo limitadas por uma faixa branca contínua.

- **Ciclofaixas operacionais:**

Faixa exclusiva instalada temporariamente durante eventos ou datas pré-estabelecidas isolada do tráfego dos demais veículos por objetos físicos como cones, grades móveis ou fitas.

- **Ciclorrotas:**

Rotas cicláveis que existem em algumas cidades e caracterizam-se por vias que não têm nenhum tipo de separação física específica para os ciclistas. É apenas uma sugestão de rota ou trajeto recomendado aos ciclistas em ruas onde o tráfego de automóveis é menor e o conceito de acalmia de tráfego é aplicado para oferecer maior segurança aos utilizadores.

- **Espaços partilhados:**

Na ausência de vias especializadas para bicicletas, a via deve ser partilhada, ou seja, bicicletas e veículos motorizados podem e devem ocupar o mesmo espaço rodoviário. Os veículos a motor devem respeitar a presença de velocípedes ou peões na via, o seu direito de utilizá-la e a distância mínima de 1,5 metros ao efetuarem manobras

de ultrapassagem, adequando também a sua velocidade de circulação ao meio em que circulam.

O conceito de oferecer pistas e faixas separadas apresenta algumas desvantagens. Um dos maiores problemas é que, exceto onde existem túneis e pontes para bicicletas, os ciclistas nas pistas laterais são obrigados a entrar na via principal nos cruzamentos. Este é o maior perigo para os ciclistas. Os críticos também afirmam que separar as bicicletas do resto do trânsito gera uma falsa impressão de segurança, e leva a uma maior falta de atenção [17].

### 1.1.2 O ambiente ciclável - Orografia

O declive médio das vias declara-se também um fator muito importante no que toca à adoção da bicicleta como meio de transporte. Em Portugal Continental, a simples observação dos mapas de declive das vias e da quota de utilização da bicicleta (figura 1.4) permite concluir que, regra geral, às manchas de declive mais acentuado correspondem quotas de utilização de bicicleta mais reduzidas. Este fator é sobretudo evidente no interior centro e norte do território. Nos municípios cujo declive médio das vias é superior a 5% a quota de utilização da bicicleta é absolutamente residual indiciando que este limiar é de algum modo dominante relativamente a qualquer outro fator de análise. A segunda conclusão é que, avaliando apenas os resultados dos municípios com declive inferior a 5%, verifica-se que existe uma relação clara entre o declive médio das vias e o nível de utilização da bicicleta. Neste âmbito, assinala-se a curiosidade de os três municípios com declive mais reduzido corresponderem igualmente àqueles em que a utilização da bicicleta é mais intensa, nomeadamente, Murtosa, Golegã e Ílhavo [7].

Na figura 1.4, é possível observar a altimetria, declive médio e quota de utilização da bicicleta em Portugal Continental.

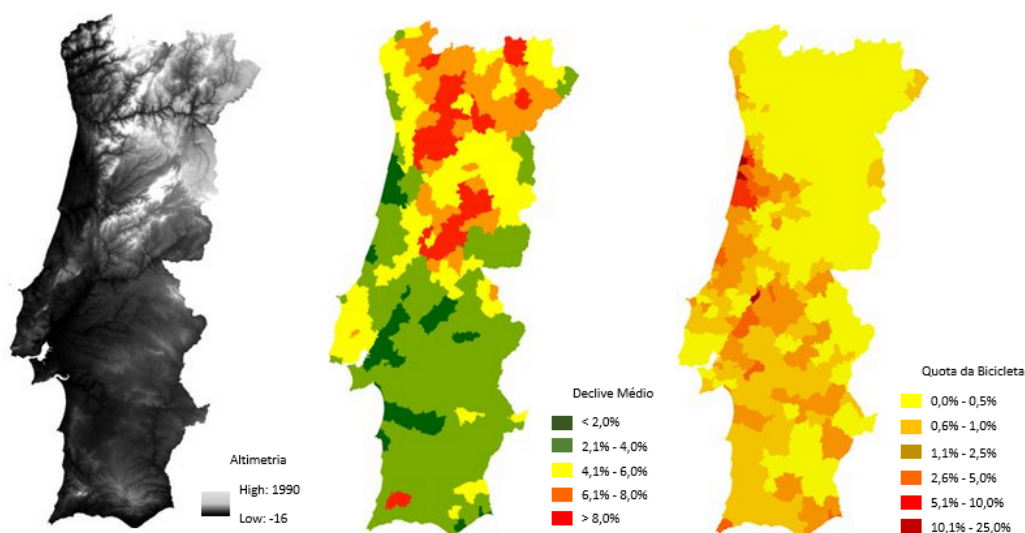


Figura 1.4: Altimetria, declive médio e quota de utilização da bicicleta de Portugal Continental [7]

### 1.1.3 O ambiente ciclável - Clima e condições meteorológicas

O transporte por meio da bicicleta é fortemente condicionado pelo meio ambiente, não só pela orografia do terreno mas também pelo clima de cada região. Sendo a bicicleta um meio de transporte pequeno e desprovido de uma proteção total do seu condutor, as condições meteorológicas podem influenciar a escolha deste para a realização dos trajetos no dia a dia.

Portugal é caracterizado com um clima mediterrâneo, segundo a classificação de Koppen, divide-se em duas regiões: uma de clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e quente (Csa) e outra de clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e pouco quente (Csb) [18]. Não existindo grandes extremos nas temperaturas ao longo do ano em território português, a mobilidade em bicicleta torna-se uma possibilidade para a mudança no setor dos transportes em Portugal.

Vários estudos foram realizados neste âmbito de forma a descobrir o peso que as condições climáticas podem ter aquando da utilização da bicicleta como meio de transporte. Segundo um estudo realizado pela Direção Geral da Comissão Europeia, no uso diário deste meio de transporte na cidade de Washington DC, apenas exercem um efeito dissuasivo significativo a chuva ou neve [19].

Segundo a Federação Europeia dos ciclistas a Holanda, seguido da Dinamarca e Suécia, são os países com a percentagem mais elevada de população que utiliza a bicicleta como meio de transporte, como se pode observar na figura 1.5.

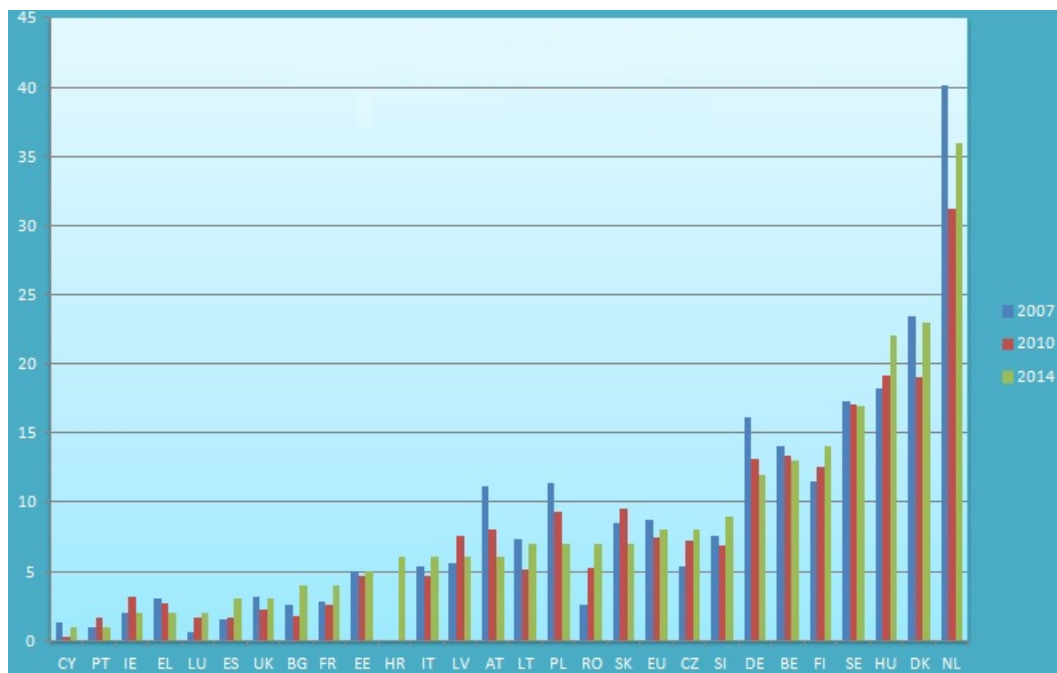


Figura 1.5: Evolução da percentagem populacional que responderam "bicicleta" à pergunta do Eurobarómetro: "Num dia típico, qual o modo de transporte que usa mais frequentemente?" [5]

A Holanda e a Dinamarca são países com regime de ventos intensos que podem

exigir uma energia considerável ao ciclista que os enfrenta e mesmo assim lideram nas estatísticas como sendo os países com mais utilizadores de bicicletas. Assim como a Suécia que é um país frio, 33% de todas as deslocações em Västerås (115.000 habitantes) fazem-se em bicicleta.

Na realidade, existem poucas situações objetivamente incompatíveis com a utilização corrente da bicicleta. Mas as curtas distâncias dos trajetos urbanos, um vestuário adequado e uma infraestrutura apropriada no destino reduzem fortemente o inconveniente de condições atmosféricas, que são muito menos incompatíveis com o ciclismo quotidiano do que se pensa [19].

Neste sentido, a presente dissertação pretende estudar a dinâmica da bicicleta em meio urbano e enfatizar a aplicabilidade da sua utilização para pequenos e médios percursos em ambiente urbano, uma vez que se trata de uma alternativa bastante sustentável.

## 1.2 Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo a instalação de sensores numa bicicleta, de forma a que esta funcione como uma plataforma laboratorial 'on-road' e que permita adquirir dados das condições de utilização da bicicleta para monitorizar os percursos que se considerem pertinentes. Através de uma aplicação *android* desenvolvida para *smartphone*, estes dados são recebidos em tempo real durante o percurso. Posteriormente, estes dados experimentais permitem traçar perfis para caracterização de percursos cicláveis, de modo a otimizar e potenciar a multimodalidade, em articulação com outros dados de mobilidade.

No âmbito do trabalho foram instalados sensores na bicicleta que permitem medir:

- 1) velocidade linear;
- 2) orografia do terreno;
- 3) coordenadas geográficas;
- 4) temperatura ambiente;
- 5) aceleração e ângulo de rotação.

Foram realizadas monitorizações experimentais em três percursos na cidade de Aveiro, nomeadamente trajetos entre a estação ferroviária e a Universidade. Este trabalho decorre no âmbito do projeto 'Deslocações seguras para a UA' dinamizado pela Plataforma Tecnológica da Bicicleta e Mobilidade Suave da Universidade de Aveiro.

## 1.3 Estrutura da Dissertação

A estrutura da presente dissertação foi organizada segundo o fluxograma apresentado na figura 1.6. Esta dissertação apresenta-se organizada em 5 capítulos principais e diversos subcapítulos, de forma a garantir fácil acesso à informação desejada por parte do leitor.

No capítulo 1, apresenta-se a motivação que levou à realização deste trabalho, assim como os objetivos a alcançar. É realizada uma abordagem à evolução do setor dos transportes em Portugal e na Europa, e respetivamente à situação atual da bicicleta como meio de transporte.

No capítulo 2, é realizado o Estado de Arte, onde se analisaram vários estudos e artigos sobre o tema da bicicleta e sua monitorização, assim como vários fatores que afetam o transporte em bicicleta. Este capítulo revela-se de elevada importância, pois permite uma familiarização mais profunda com o tema tratado, permitindo conhecer o que já foi realizado nesta área e quais os resultados obtidos e suas conclusões.

Segue-se o capítulo 3, que contém os métodos utilizados para a realização da presente dissertação. Permite ao leitor conhecer todo o processo, e quais as razões que levaram o autor a escolher a metodologia seguida.

No capítulo 4, apresentam-se os resultados obtidos, assim como a sua discussão.

Por fim encontra-se no capítulo 5 as conclusões obtidas com a execução deste trabalho, assim como alguns planos de trabalhos futuros, que poderiam complementar o presente estudo.



Figura 1.6: Fluxograma da estrutura da dissertação



## Capítulo 2

# Estado de Arte

Perante as grandes expectativas em relação às bicicletas como meio de transporte diário, têm sido vários os estudos recentes no sentido de compreender e quantificar os benefícios reais deste meio de transporte em meio urbano. Deste modo, foi realizada uma revisão bibliográfica relativamente aos estudos realizados nesta área.

### 2.1 Investigação relacionada com o utilizador de bicicleta

O utilizador de bicicleta é um dos fatores mais importantes para a adoção da bicicleta como meio de transporte, e divide-se em duas vertentes, a mentalidade do possível utilizador e a sua aptidão física.

Hoje em dia, em Portugal a bicicleta é vista maioritariamente como objeto de lazer. As inúmeras vantagens associadas à bicicleta como meio de transporte caíram em esquecimento ou simplesmente foram ignoradas pela maioria da população ao longo do tempo. Deste modo, o desconhecimento das qualidades e das vantagens objetivas da bicicleta constitui um dos primeiros obstáculos que poderia ser ultrapassado com campanhas de informação ou programas de sensibilização.

Num estudo realizado nos Países Baixos, os automobilistas obrigados a recorrer à bicicleta, enquanto o seu automóvel se encontrava em reparação, declaram-se agradavelmente surpreendidos pelas qualidades objetivas da bicicleta em relação à qual possuíam uma má opinião antes de terem feito a experiência [19].

No entanto e acima de tudo, o transporte em bicicleta exige um esforço muscular por parte do utilizador, e deste modo um consumo de energia e de oxigénio superior comparativamente com outros meios de transporte convencionais. É portanto, fundamental ter em consideração este fator. Assim, características do utilizador como idade, género, peso e condição física são alvo de estudos de forma a descobrir quais as suas influências na utilização da bicicleta no dia a dia.

Foram analisados alguns trabalhos onde é possível encontrar a quantificação e técnicas de medição da energia humana despendida, onde incluem:

- Relação entre o peso corporal e o consumo de oxigénio: estudos realizados concluem que o consumo de oxigénio é independente do peso corporal. Esta dependência é apenas encontrada em indivíduos com peso acima da média, durante o ciclismo com uma carga de trabalho normal [20].

- Relação entre a idade, o género e o gasto de energia: Adams e Swain descartam diferenças significativas no consumo de energia tendo em conta o género ou idade (sendo que a faixa de idades estudada foi entre 20-52 anos) durante o ciclismo em ritmo normal [21 e 22].

- Relação entre as características do terreno e o consumo de energia: Parkin estudou a quantificação do esforço humano durante a atividade do ciclismo, utilizando uma fórmula que engloba variáveis como velocidade, aceleração, eficiência mecânica da bicicleta, entre outras, e afirma que o declive da estrada influencia a energia despendida pelo ciclista, bem como o número de paragens. Uma simples paragem num cruzamento pode levar a um aumento de 10% da energia consumida [23].

Ao contrário do senso comum, fatores como peso, idade ou género não influenciam significativamente o desempenho na atividade de ciclismo, em contrapartida, este exercício influencia de forma positiva a aptidão física e a saúde dos seus utilizadores.

- Em média, os utilizadores de bicicleta têm uma esperança média de vida superior em dois anos em relação aos não-utilizadores, e faltam em média 15% menos ao trabalho por motivo de doença [24].
- Um adulto que utiliza a bicicleta diariamente, normalmente tem um nível de aptidão física correspondente a ser 10 anos mais novo [5].
- Os países com um maior número de cidadãos que optam pela bicicleta e por andar a pé como meio de transporte apresentam taxas de obesidade mais baixas [25].

## 2.2 Investigação relacionada com bicicletas instrumentadas

Atualmente as bicicletas tornaram-se mais leves, as mudanças de velocidades modernas não apresentam qualquer dificuldade de manuseamento, os pneus e as câmaras de ar resistem melhor aos furos, os travões e os sistemas de iluminação tornaram-se mais eficazes, e materiais mais leves e resistentes têm sido aplicados de modo a diminuir o seu peso [19].

De forma a modernizar a bicicleta e torná-la mais apelativa e eficaz para o transporte, vários estudos foram realizados de modo a descobrir os fatores que podem influenciar de forma positiva o conforto do utilizador, assim como facilitar o exercício de andar de bicicleta. O modo utilizado para descobrir esses fatores, consiste normalmente na monitorização da bicicleta, ou seja, equipar a bicicleta com dispositivos específicos que permitem obter dados relativamente a vários aspetos, podem ser eles referentes ao meio ambiente (como temperatura, humidade, vento, etc), orografia do terreno (como o declive médio), coordenadas geográficas, velocidade linear, potência fornecida, altitude barométrica, entre outros. Com base em dados recolhidos, é possível concluir que pequenas mudanças nos sistemas que constituem o ambiente ciclável, seja a nível de design, dimensões e material da bicicleta, ou até mesmo melhor planeamento das redes cicláveis podem contribuir significativamente de forma positiva para o conforto do utilizador de bicicleta e com isto facilitar o exercício.



O desenvolvimento tecnológico mais recente nesta área é o *Instrumented Probe Bicycle* (IPB), usado para monitorizar todo o meio envolvente da bicicleta. Na conferência *International Cycling Safety Conference 2014* [26], apresentaram-se diversos estudos elaborados através de monitorizações e instrumentações da bicicleta de modo a recolher dados realistas '*in situ*' e assim estudar diversos fatores que influenciam a adoção da bicicleta como meio de transporte, descobrindo o que se pode melhorar. A conferência aborda o plano de pesquisa IPB que consiste em três objetivos. Em primeiro lugar, superar o desafio de pós-processamento de dados e sincronização. O desenvolvimento da tecnologia IPB é sugerida com o objetivo de automatizar etapas entre a obtenção de dados e a sua análise. Em segundo lugar, é dada ainda mais importância ao conforto do ciclista de modo a desenvolver modelos que permitam melhorar o design da bicicleta. Por último, acredita-se que o desenvolvimento tecnológico IPB é um passo importante em direção a sistemas inteligentes de bicicletas.

Alguns estudos foram analisados onde os autores abordam várias vertentes neste âmbito. Yamashita et al. abordam uma análise da potência em ciclismo analisando as coordenadas do joelho, do calcanhar, e do dedo do pé assim como o tamanho da perna, do pé e do braço do pedal, durante o ciclismo. Foram utilizados células de carga biaxiais instaladas nos pedais da bicicleta, para medir a direção e magnitude da força ao pedalar com o objetivo de determinar a relação entre a perna humana e a força motriz da bicicleta. Através dos resultados obtidos foi possível obter informações sobre a direção ideal em que o ciclista deve exercer a força no pedal de forma a rentabilizar ao máximo o esforço aplicado [27].

Utilizando o mesmo tipo de instrumentação, Drouet e Champoux [28] desenvolveram um braço instrumentado com 12 medidores de tensão para o pedal de bicicleta de estrada. Este estudo teve como objetivo analisar o ciclismo em todo o terreno (considerando que o ciclista pode estar ou não sentado no selim). Estes dados revelaram-se bastante importantes tendo em conta que seriam impossíveis de se obter em laboratório, e deste modo tornam-se extremamente úteis quando se pensa na segurança do ciclista em todas as situações possíveis.

Dos mesmos autores surge um estudo de análise de todas as forças de reação entre a roda dianteira e traseira da bicicleta com o piso. Um dos requisitos de projeto para os cubos dinamométricos existentes nas rodas das bicicletas, é que eles sejam capazes de suportar as cargas numa variedade de situações, incluindo o caso mais crítico: impactos causados por estradas acidentadas. Com a análise dos resultados das medições realizadas, conclui-se que este estudo é uma ferramenta valiosa para a obtenção de dados '*on-road*' significativos e realistas para projetistas de bicicletas [29].

Num estudo realizado em 2010 [30], os autores desenvolveram um banco de ensaios para verificar o comportamento dos travões da bicicleta durante o ciclo de travagem em condições secas e húmidas. O modelo foi testado com três tipos diferentes de discos de travões, variando em diâmetro e geometria do anel de fricção. Também Lie e Sung [31] apresentam uma investigação sobre o desempenho da travagem e segurança para o ciclismo em linha reta e em caminhos inclinados. A equação de movimento para um modelo de roda bem como um modelo de travagem síncrona ideal permitem adquirir a melhor distância de travagem que melhora a estabilidade de condução.

Com o intuito de avaliar o conforto do ciclista durante a sua atividade, surge um trabalho que propõe um estudo experimental para quantificar o conforto do ciclista através da aquisição de dados em tempo real de 16 sensores [32]. Estes dados são analisados tendo

em conta a vibração corporal a que o ciclista é sujeito, visto que próximo ao conforto ergonómico, há também o conforto vibratório, que descreve como o ciclista, ou mais em geral o ser humano, percebe a exposição a vibrações [32]. Neste sentido, Vanwallegghem et al. [33] também estudaram o conforto vibratório do ciclista na bicicleta numa superfície áspera, através de acelerómetros, sensores de força de contacto feitos por medida e sensores de velocidade instrumentados na bicicleta. Esta abordagem pode dar uma nova interpretação sobre a avaliação de conforto do ciclista já que a carga vibratória não só é quantificada em termos de aceleração, mas também em termos de força e velocidade nos pontos de contacto bicicleta-ciclista como selim, guiador e pedais.

Mendes [34] analisou um conjunto de viagens através de um laboratório de monitorização. O laboratório era constituído por GPS, pinça amperimétrica, sonda de leitura de voltagem e respetivo divisor de tensão, sensores de sinais fisiológicos, acelerómetro triaxial, placa USB e computador portátil. Com os dados recolhidos foi desenvolvida uma metodologia para quantificar a potência necessária a cada segundo de um ciclo de condução, sendo esta metodologia denominada por BSP (*bicycle specific power*). Esta fornece uma estimativa da potência por unidade de massa requerida a cada instante de uma viagem por cada bicicleta em estrada.

Outros autores propõem também um novo método de monitorização que pode ser utilizado para avaliar o desempenho da bicicleta em termos de segurança e mobilidade: uma bicicleta instrumentada, que está equipada com um conjunto de sensores incluindo GPS, acelerómetro e sensor de giroscópio, foi utilizada para desenvolver um método de monitorização. Os dados recolhidos fornecem informação útil para a identificação de manobras longitudinais, laterais e verticais da bicicleta, que são afetados por fatores ambientais, como o volume de veículos pesados, a condição da superfície, grau, cruzamentos, lombas e curvas [35]. Também Dozza e Fernandez [36] utilizaram uma câmara de filmar e sensores para recolher dados da dinâmica da bicicleta enquanto meio de transporte. Como conclusão os autores afirmam que os sistemas inteligentes de transporte para bicicletas não são apenas desejáveis mas também viáveis.

Apesar das bicicletas no Japão serem amplamente utilizadas como meio de transporte, os níveis de satisfação dos ciclistas perante as condições das ruas não são elevados, uma vez que a maioria dos espaços de bicicletas é partilhado com peões. Deste modo, Yamanaka et al. desenvolveram uma bicicleta instrumentada capaz de medir velocidades, travagem, direção, distância lateral e vibração através dos sensores elétricos e também medir a densidade aparente do tráfego através da câmara de vídeo. Este estudo tem como objetivo analisar a relação entre a perceção do ciclista e o seu comportamento perante os peões ou condutores de veículos [37]. Neste sentido, Walker [38] desenvolveu uma bicicleta instrumentada para reunir dados sobre a proximidade de motoristas na manobra de ultrapassagem. O autor utilizou um sensor de distância ultra sónico, uma câmara de vídeo, e um laser (para ajudar o ciclista com a manutenção da distância fixa à berma da estrada). As conclusões obtidas com os testes realizados foram surpreendentes de tal modo que, quanto mais perto da berma da estrada se encontrava o ciclista mais próximo dele passavam os veículos ao ultrapassarem, assim como usando capacete de segurança o tráfego circulava significativamente mais perto do ciclista. Notou-se um aumento da distância entre a bicicleta e os restantes veículos quando o ciclista aparentava ser do sexo feminino. Outro estudo [39] foi realizado, na Austrália, com o objetivo de identificar fatores de risco para colisões / quase-colisões envolvendo ciclistas e motoristas. Os ciclistas que realizaram os testes utilizavam um capacete com uma câmara de vídeo.

Com os resultados obtidos os autores concluíram que 88,9% dos ciclistas viajou de forma segura; choques laterais era o tipo de incidente mais frequente (40,7%); e a maioria dos incidentes ocorreram numa localização perto de uma interseção (70,3%). Em relação aos comportamentos dos condutores verificou-se que o condutor do veículo não foi avaliado na maioria dos incidentes (87,0%) e em cerca de 83,3% dos incidentes os condutores não tiveram qualquer reação perante o incidente. Esta apreciação irá contribuir para o desenvolvimento de medidas eficazes para reduzir o trauma do ciclista.

De forma a automatizar as mudanças de velocidades da bicicleta, uma equipa de consultores de Cambridge desenvolveu um sistema entre o *smartphone* e a bicicleta que permite que as mudanças de velocidades sejam alteradas automaticamente sem interferência do ciclista. Os autores desenvolveram uma aplicação que permite, através do acelerómetro e do GPS integrado no *smartphone*, prever a mudança ideal para o trajeto procedente. Através de uma conexão via *bluetooth* a aplicação controla a mudança de velocidade, ativando sempre a mudança ideal para cada troço [40].

Como se pode verificar, são inúmeros os estudos realizados com o intuito de monitorizar a bicicleta e todo o seu meio envolvente, com a finalidade de proporcionar melhores condições para a utilização da mesma. Os resultados obtidos pelos vários autores analisados são de extrema importância em várias áreas, como projeto de bicicletas tendo em conta as características de cada região, planeamento de vias próprias para a circulação de bicicletas, conforto do ciclista, e na criação de regulamentos que possam de alguma forma proteger os direitos dos ciclistas enquanto utilizadores da via pública.



## Capítulo 3

# Metodologia e Métodos

Para o desenvolvimento da presente dissertação foram necessárias algumas escolhas no que se refere aos métodos e ferramentas utilizadas. Este capítulo tem como objetivo abordar toda a metodologia seguida assim como justificar algumas das opções tomadas. Será portanto exposto ao leitor todo o processo de desenvolvimento da presente dissertação, em detalhe.

Em suma, a metodologia seguida apresenta-se representada no fluxograma da figura 3.1 e a calendarização das várias tarefas podem ser consultadas na tabela 3.1.

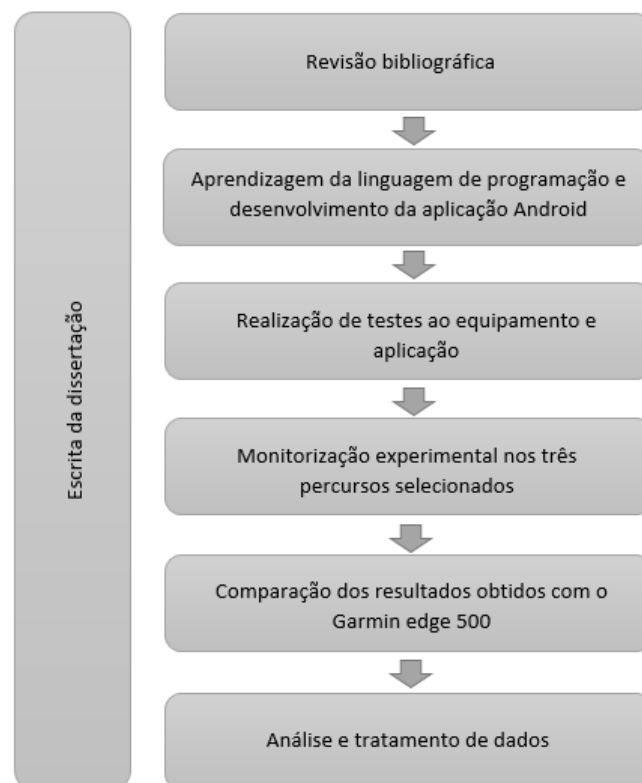


Figura 3.1: Fluxograma da metodologia seguida

Numa primeira fase foi realizada uma profunda leitura sobre estudos realizados em

torno do tema desta dissertação com o intuito de tomar conhecimento sobre o que já foi realizado neste âmbito. Inicialmente este estudo focou-se no setor dos transportes em geral, e em particular para os modos suaves, seguindo-se de um estudo mais direcionado para a monitorização de bicicletas através de sensores. Esta tarefa encontra-se nos capítulos 1 e 2 da presente dissertação.

Posto isto, seguiu-se a tarefa 2, que correspondeu a um período de aprendizagem da linguagem de programação QML em paralelo com o desenvolvimento da aplicação *android* para *smartphone*.

Após a conclusão da aplicação, foi implementado o protótipo de sensores na bicicleta e todo o material utilizado para a monitorização e realizaram-se testes preliminares para averiguar o perfeito funcionamento de todo o material a utilizar (tarefa 3 na calendarização proposta).

Posteriormente, na tarefa 4, realizaram-se os testes de monitorização que foram praticados em três percursos distintos, sendo sempre o ponto de partida a estação de Aveiro e o ponto de chegada a Universidade de Aveiro.

Após a recolha dos dados surge a tarefa 5 que consiste em analisar criteriosamente e comparar os dados obtidos com o *garmin edge 500* para verificar as diferenças dos resultados obtidos entre o sistema desenvolvido e o equipamento comercial da *Garmin* e possíveis conclusões para o sucedido.

Por fim foi realizada a avaliação dos resultados e retiradas as conclusões deste estudo, na tarefa 6. A escrita da dissertação, que corresponde à tarefa 7 da calendarização, ocorreu em paralelo com as restantes tarefas.

Tabela 3.1: Calendarização da dissertação

Tarefa	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

A parte de desenvolvimento desta dissertação incidiu-se essencialmente no desenvolvimento de uma aplicação *android* para *smartphone*, realização de testes de monitorização de percursos cicláveis e a consequente análise e discussão de resultados. Deste modo, neste capítulo será abordado todo o processo para o desenvolvimento da aplicação assim como todo o equipamento utilizado na monitorização experimental e as condições em que os testes se realizaram.

### 3.1 Aplicação *android* para *smartphone*

Como já referido anteriormente, as monitorizações experimentais realizadas tiveram como base a instalação de um conjunto de sensores numa bicicleta. Para o utilizador ter acesso à informação enviada pelos sensores em tempo real, foi proposto o desenvolvimento de uma aplicação *android* para *smartphone*, que funcionasse como interface entre o condutor

e os sensores; desta forma o utilizador pode visualizar, enquanto conduz, a informação enviada pelos sensores no próprio telemóvel em tempo real.

Os sensores permitem a obtenção de dados sobre a velocidade, hora, coordenadas geográficas, (latitude, longitude e altitude) aceleração e ângulo de rotação segundo os eixos X, Y e Z e ainda a temperatura ambiente. No subcapítulo intitulado 'Material de monitorização' será realizada uma abordagem em detalhe aos sensores utilizados.

Uma aplicação móvel, conhecido normalmente pela abreviatura *app*, é um *software* desenvolvido para ser instalado num dispositivo eletrónico móvel, como por exemplo num *tablet* ou *smartphone*. A facilidade inerente à instalação de uma aplicação móvel (que pode ser efetuada em qualquer local e hora) faz com que o mercado de desenvolvimento de aplicações móveis se encontre em expansão nos dias de hoje.

Existem vários sistemas operacionais, mas a enorme variedade de dispositivos móveis com o sistema operacional *android* faz com que esta plataforma esteja na liderança. Por este motivo, optou-se pelo desenvolvimento de uma aplicação para *android*. De acordo com a *International Data Corporation* a plataforma *android* domina o mercado com uma quota de 78% no primeiro trimestre de 2015 a nível mundial. Ver figura 3.2.

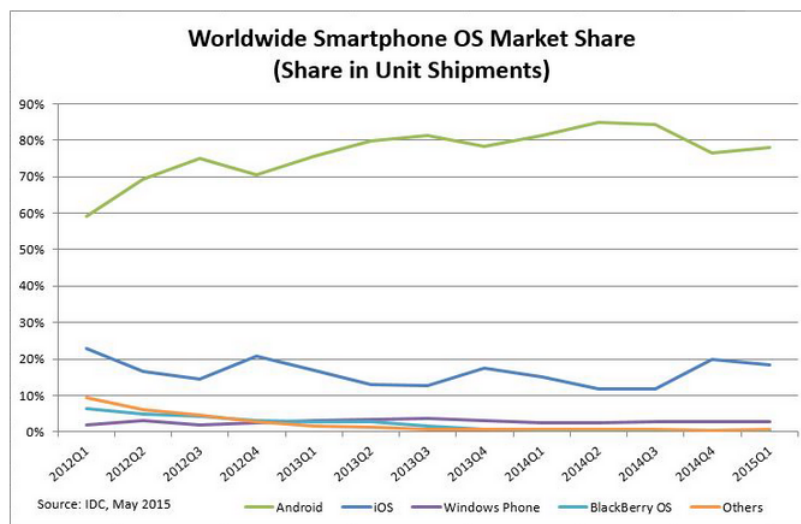


Figura 3.2: Top 5 para o sistema operacional para *smartphones* [41]

Para a elaboração da *app*, foi utilizado o *software* Qt Project. Qt é uma multi-plataforma para desenvolvimento de interfaces gráficas em C++ criado pela empresa Norueguesa *Trolltech*. Com este *software* é possível desenvolver aplicações e bibliotecas e compilar para diversas plataformas sem que seja necessário alterar o código fonte [42].

Para o desenvolvimento desta aplicação foi utilizado o módulo Qt Quick (*Qt User Interface Creation Kit*) que faz parte do *framework* Qt e utiliza QML como linguagem de programação [42].

QML (*Qt Meta-objects Language*) é uma linguagem declarativa, é utilizada no desenvolvimento de aplicações e procura facilitar o projeto e a implementação de aplicações através da rapidez na codificação. O estilo de programação da linguagem QML é baseado nas linguagens CSS (*Cascading Style Sheets*) e *JavaScript*, tornando-se bastante acessível e fácil para programadores C, C++, *Java* e principalmente programadores *WEB*. Uma

das principais características da linguagem QML é a flexibilidade, que se torna possível graças à possibilidade de adicionar e manipular elementos como formas, imagens e texto. Outros elementos como estados, transições, animações, transformações, efeitos gráficos e elementos de interação permitem a criação de aplicações mais sofisticadas em QML, principalmente quando utilizados em conjunto com *JavaScript* e C++ [42].

O desenvolvimento de aplicações para dispositivos móveis envolve não só o processo de programação e desenvolvimento mas também o processo de planeamento e funcionamento da aplicação. Pretendeu-se portanto criar uma aplicação de fácil utilização, alusiva ao tema, e *user friendly*, ou seja, que transmita uma sensação agradável ao utilizador durante a sua utilização. Na imagem da figura 3.3 é possível observar as várias funcionalidades e o aspeto da aplicação desenvolvida.

Como já referido anteriormente, o objetivo principal da aplicação é criar uma interface agradável para visualizar os dados recebidos pelos sensores durante uma viagem, e gravar um ficheiro com os dados recebidos para que o utilizador possa analisar todo o seu percurso quando assim o desejar.

Deste modo ao iniciar a aplicação surge a primeira página (figura 3.3a). Nesta página encontra-se identificado a instituição de ensino, 'Universidade de Aveiro', o nome da aplicação, 'SensorBike@ua'. No botão 'Sobre' é apresentado uma mensagem com a informação sobre o âmbito em que a aplicação foi criada (ver imagem da figura 3.3b), ao clicar no botão 'Entrar' é iniciada a comunicação *bluetooth* com o intuito de encontrar e criar conexão entre o *bluetooth* do *smartphone* e o *bluetooth* que se encontra instalado na bicicleta, para permitir a comunicação entre os sensores e o telemóvel.

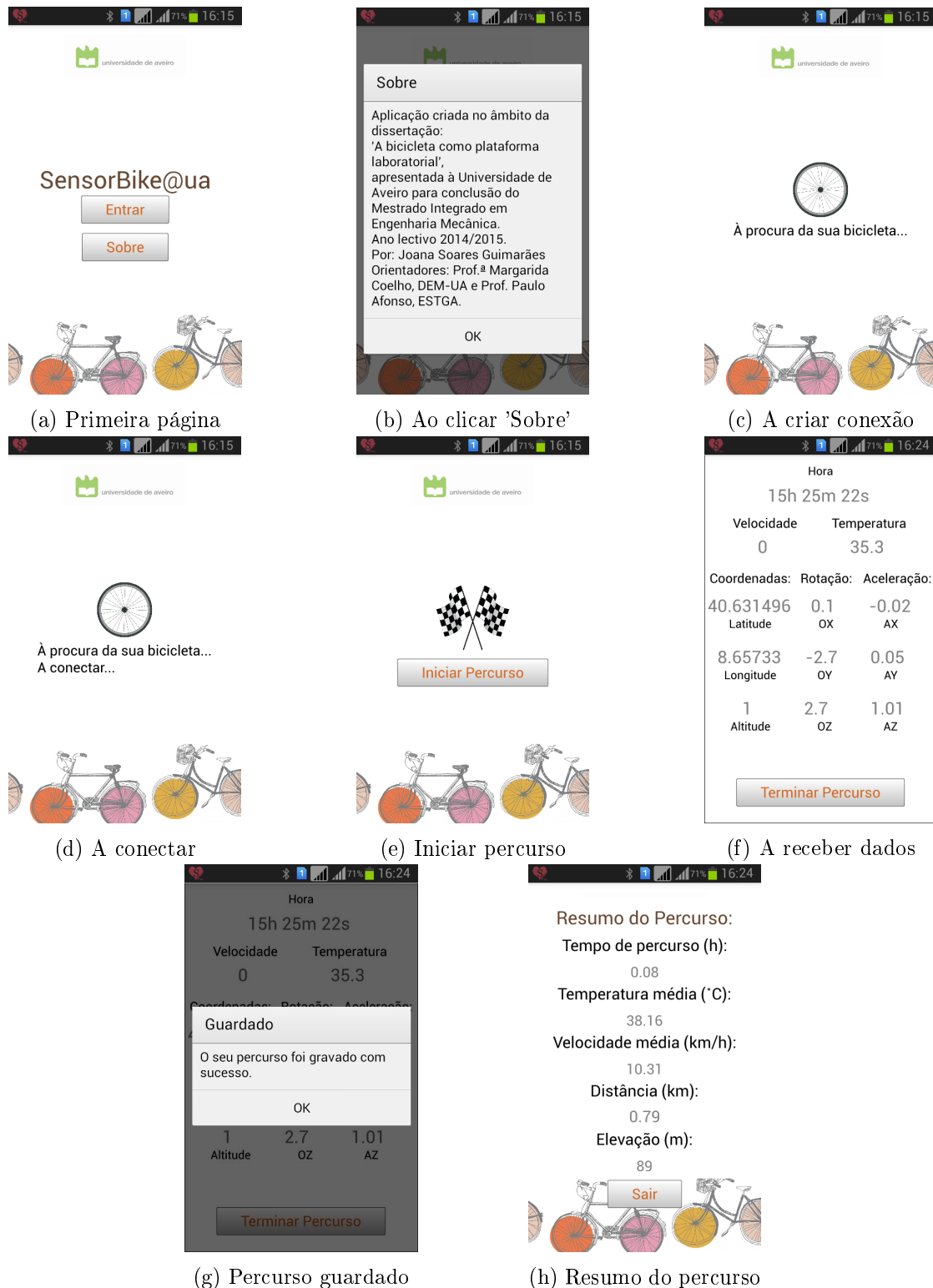
O utilizador pode observar as imagens 3.3c e 3.3d enquanto é estabelecida a ligação. Quando a conexão for estabelecida com sucesso e o utilizador estiver preparado para iniciar percurso, basta clicar em 'Iniciar Percurso' como se pode observar na figura 3.3e, e em seguida surge no visor a mostragem dos dados a receber, figura 3.3f. Como já referido anteriormente, os dados recebidos são relativos à hora [hora:minutos:segundos], velocidade [km/h], temperatura [°C], coordenadas geográficas (latitude [°], longitude [°] e altitude [m], ângulo de rotação [°] e aceleração [g] segundo os eixos X, Y e Z.

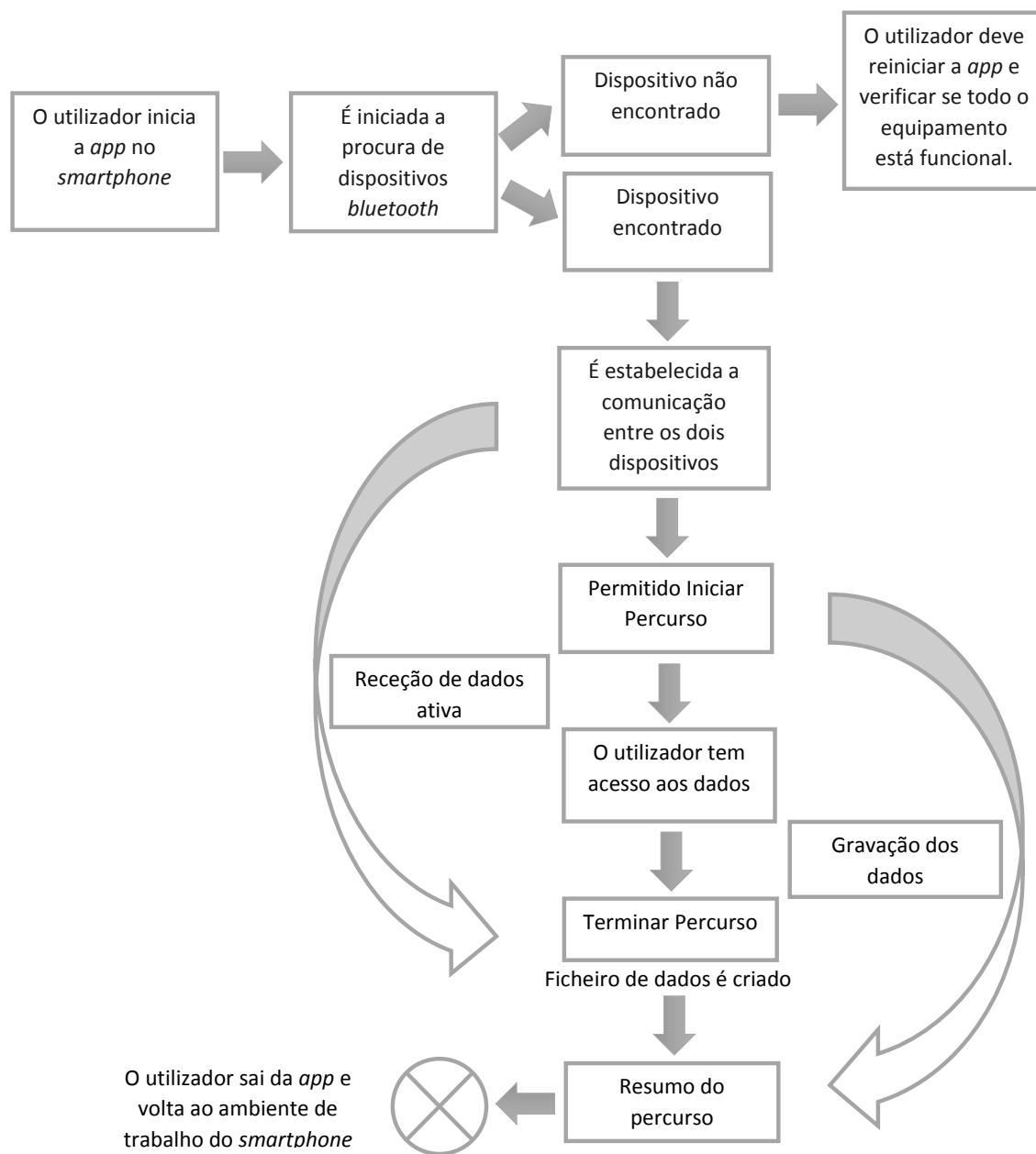
Os dados são atualizados no mesmo intervalo de tempo que os sensores enviam os dados, segundo a segundo. Ao terminar o percurso basta clicar em 'Terminar Percurso' para que os dados sejam gravadas num ficheiro de texto (extensão .txt) na pasta 'Os meus ficheiros' do telemóvel, em seguida surge no ecrã a informação de que os dados foram gravados com sucesso (figura 3.3g). O ficheiro criado com os dados do percurso pode ser transferido para o computador e analisado pelo utilizador quando este o desejar, através de várias ferramentas como o *Microsoft Excel*, *GPS Visualizer (online)*, entre outras. A transferência pode ser efetuada através das várias tipologias de comunicação do telemóvel (via *e-mail*, cabo de transferência de dados, *bluetooth*, cartão de memória, etc.)

Por último é apresentado um resumo do percurso onde se pode consultar o tempo de duração da viagem em [h], velocidade e temperatura média em [km/h] e [°C] respetivamente, a distância percorrida em [km] e por fim a elevação em [m], juntamente com um botão que permite ao utilizador sair da aplicação. A distância percorrida em km é calculada através da multiplicação entre o tempo de viagem e a velocidade média. Na imagem 3.4 está representado a arquitetura da aplicação desenvolvida.

As múltiplas imagens utilizadas na aplicação foram retiradas das referências: [43-46]



Figura 3.3: Aplicação *android* para *smartphone*

Figura 3.4: Arquitetura da *app* desenvolvida

## 3.2 Material de monitorização

Nesta secção será realizada uma descrição detalhada de todo o material utilizado durante as monitorizações assim como as suas características principais.

### 3.2.1 Laboratório de sensores

As viagens realizadas foram monitorizadas através de um laboratório de sensores constituído por diversos equipamentos eletrónicos, que foram disponibilizados pelo professor Paulo Afonso, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Águeda. Através destes equipamentos é possível adquirir dados e enviar os mesmos para a aplicação desenvolvida em tempo real.

Na figura 3.5 é possível observar o laboratório de sensores instalado na bicicleta, que é constituído pelos seguintes componentes:

- Módulo GPS: GPS *Standalone Module* FGPMMPA6H;
- Módulo *bluetooth*: HC-05
- Giroscópio + Acelerómetro: GY-521 MPU 6050;
- Micro-controlador: PIC18(L)F2X/4XK22;
- Célula de carga 3,8V;
- Placa USB: D-SUN USB To TTL.

Os sensores foram afixados numa placa de madeira para facilitar a sua colocação na bicicleta e garantir a correta posição dos sensores, como se pode verificar na imagem da figura 3.5.

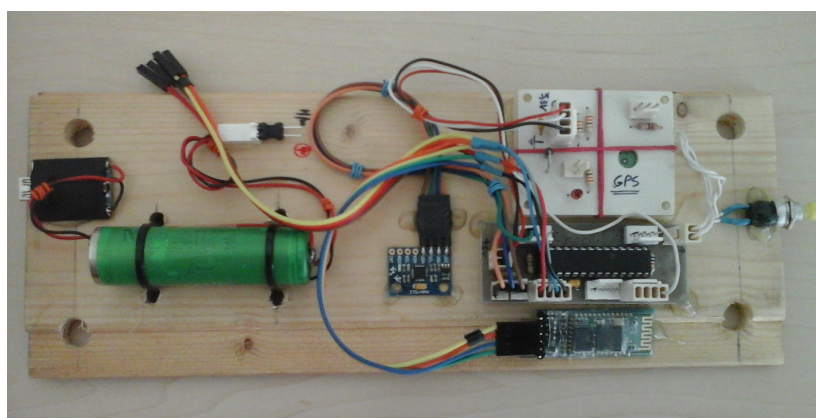


Figura 3.5: Laboratório de sensores para monitorização

### Módulo GPS

O FGPMMPA6H é o módulo GPS utilizado, autónomo de 4<sup>a</sup> geração com baixo consumo de energia, apresenta as seguintes dimensões 15 x 15 x 2,5 mm, e encontra-se representado na imagem da figura 3.6.

Através deste dispositivo obtém-se os valores do tempo (hora, minutos e segundos), latitude, longitude em graus e altitude em metros, assim como da velocidade em quilômetros por hora.



Figura 3.6: GPS *Standalone Module* FGPMMPA6H [48]

Algumas especificações:

- Alta Taxa de atualização: até 10 Hz;
- *Instant Fix Time-to-First* (TTFF) com menor consumo de energia para processamento de sinal GPS;
- *EASY* - previsão de órbita para correção de posicionamento instantâneo;
- *AlwaysLocate*: '*Intelligent Algorithm*' para economizar energia;
- Função de comutação automática de antena;
- 12 *multi-tone active interference canceller*: cancela interferências externas de componentes ativos na placa principal, para melhorar a capacidade de recepção GPS;
- Função *Antena Advisor* (detecção e notificação de estados diferentes de antenas);
- Consumo atual: 3,3V;

### Módulo *Bluetooth*

Módulo HC-05 é um módulo *Bluetooth* SPP (Serial Port Protocol), projetado para configuração da conexão em série sem fios. É um dispositivo eletrônico com 12,7 x 27 mm, representado na imagem da figura 3.7. Através do *bluetooth* é possível criar a comunicação entre os sensores e o *smartphone* para transferência dos dados.

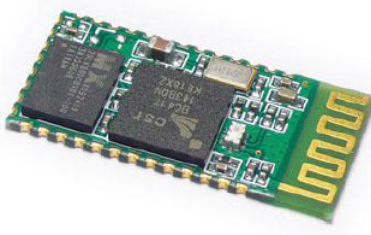


Figura 3.7: Módulo *bluetooth* HC-05 [49]

Especificações:

- Baixo consumo de operação: 1,8V;
- Controlo PIO (*Programmable Input/Output line*);
- Interface de UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) com taxa de transmissão programável;
- Com antena integrada;
- Com conector de borda;

### Módulo Giroscópio + Acelerómetro

O sensor MPU 6050 combina num único chip um acelerómetro e um giroscópio de 3 eixos cada, onde se obtém o ângulo de rotação em graus e a aceleração em g, segundo os eixos X, Y e Z, com as seguintes dimensões 2 x 1,6 x 0,1 mm. Além disto o módulo GY-521 tem incorporado um sensor de temperatura que permite medições entre -40 e 85 °C (ver figura 3.8).

Além dos sensores tem embutido um recurso chamado DMP (*Digital Motion Processor*), responsável por fazer cálculos complexos com os sensores e cujos dados podem ser usados para sistemas de reconhecimento de gestos, navegação (GPS), manobras, e diversas outras aplicações.

Algumas especificações:

- Tensão de operação: 3-5V;
- Conversor AD 16 bits;
- Comunicação: Protocolo padrão  $I^2C$ ;
- Faixa do giroscópio:  $\pm 250$ ,  $\pm 500$ ,  $\pm 1000$ ,  $\pm 2000^{\circ}/s$ ;
- Faixa do acelerómetro:  $\pm 2$ ,  $\pm 4$ ,  $\pm 8$ ,  $\pm 16g$ .



Figura 3.8: Módulo giroscópio + acelerómetro: GY-521 MPU 6050 [50]

### Micro-controlador

O micro-controlador utilizado trata-se de um PIC18LF26k22 de 28 pinos, baixo consumo e alto desempenho (representado na imagem da figura 3.9).



Figura 3.9: Micro-controlador PIC18(L)F2X/4XK22 [51]

Algumas especificações:

- Alto Desempenho RISC CPU;
- Até 1024 bytes de dados EEPROM;
- Até 64 *Kbytes* de memória Programa Linear;
- Oscilador Interno de precisão 16 MHz;
- Até 35 I/O mais 1 *Input* apenas;
- Conectividade: 3-wire SPI e  $I^2C$ ;
- Tensão de operação: 1,8V a 3,6V;

### Placa USB

A placa USB utilizada trata-se de uma placa D-SUN USB To TTL, idêntica à representada na figura 3.10.

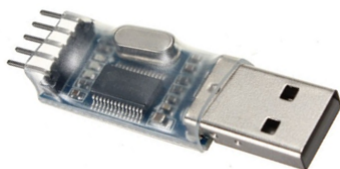


Figura 3.10: Placa USB D-SUN USB To TTL [52]

Este equipamento eletrônico serve de meio de comunicação entre os sensores e o computador, quer para transferência dos programas para o micro-controlador como de fonte de energia na ausência da célula de carga.

### 3.2.2 Outros equipamentos

#### *Smartphone*

Um *smartphone* é um telemóvel com funcionalidades avançadas. Os sistemas operacionais dos *smartphones* permitem o desenvolvimento de variadas aplicações e desta forma os utilizadores destes dispositivos móveis têm à sua disposição uma grande variedade de aplicações com diversas utilidades. Tendo em conta a plataforma de cada *smartphone*, o utilizador pode encontrar a aplicação que deseja em lojas online como a *Google Play*, *Windows Store* e *App Store*.

O dispositivo móvel utilizado para suportar a aplicação desenvolvida é apresentado na figura 3.11, trata-se do *smartphone Samsung Galaxy Fresh Duos*. As especificações técnicas do *smartphone* utilizado podem ser consultadas na tabela 3.2.



Figura 3.11: Dispositivo móvel utilizado [47]

Tabela 3.2: Especificações técnicas do dispositivo móvel utilizado [47]

Tipo Telemóvel	<i>Smartphone</i> Dual SIM
Sistema Operativo	<i>Android</i> JB 4.1.2
Comunicações	GPRS/EDGE Wi-Fi 802.11, Wi-Fi <i>Direct</i> , Wi-Fi <i>hotspot</i> <i>Bluetooth</i> 4.0
Dimensão do Ecrã	4,0 "
Resolução do Ecrã	800 x 480 px
Tipo de Ecrã	LCD tátil capacitivo com multi- <i>touch</i>
Memória Interna	4 GB
Memória RAM	512 MB
Expansibilidade	microSD (até 64GB)
Processador	ARM Cortex-A9 1,0GHz

#### *Garmin edge 500*

*Garmin* Ltd. é uma empresa que desenvolve produtos de consumo baseados na tecnologia GPS. Tem como missão a criação de produtos de qualidade superior para as indústrias

automóvel, de aviação, marítima, exterior e desportiva.

Dentro da categoria de ciclismo são já vários os dispositivos e acessórios desenvolvidos pela empresa, com o intuito de monitorizar cada vez mais ao pormenor esta atividade.

Como forma de avaliar a veracidade dos dados recolhidos com o laboratório de sensores desenvolvido utilizou-se o *garmin edge 500* (ver figura 3.12), para comparar os resultados obtidos.

O *edge 500* é um computador de bicicleta com GPS para desempenho e navegação, concebido para os ciclistas que desejam melhorar o seu desempenho [53].



Figura 3.12: *Garmin edge 500* e acessórios [53]

Especificações técnicas são:

- Cálculo avançado de calorias gastas baseado nos batimentos cardíacos;
- Compatível com dispositivos medidores de potência ANT;
- Recetor GPS de alta sensibilidade HotFix;
- Altimetro barométrico;
- Tecnologia wireless ANT+ - liga-se sem fios ao sensor de ritmo cardíaco, ao sensor de velocidade/cadência GSCT 10 ou dispositivos medidores de potência ANT+;
- Sensor de ritmo cardíaco e de velocidade/pedalada GSCT;
- Peso: 56,7g;
- Dimensões: 48 x 69 x 22 mm;

### Câmara de vídeo

Foi igualmente utilizada uma câmara de vídeo de desporto de pequenas dimensões para filmar o tráfego circundante à circulação em bicicleta, aquando da realização dos testes de monitorização. Trata-se de uma *Rollei Action Cam Youngstar Azul* com as dimensões 66 x 45 x 25 mm com cerca de 48 g, o que permitiu uma fácil instalação no guiador da bicicleta.



## Bicicleta

Finalmente, para a realização dos testes experimentais foi utilizada uma bicicleta fruto de uma doação realizada pela Órbita Bicletas Portuguesas à Universidade de Aveiro.

A empresa situa-se em Águeda e foi fundada a 2 de Fevereiro de 1971 por iniciativa da Empresa Ciclista Miralago. A união entre a Órbita e a Miralago na pesquisa de novos produtos, desenvolvimento, produção e melhoria constante de qualidade, são os intervenientes principais do setor que consagrou Águeda como a capital das duas rodas. Produzem bicicletas para o público em geral, desde crianças a adulto, normais ou elétricas, em aço, alumínio ou carbono e para todas as modalidades [54].

Trata-se de uma bicicleta citadina de senhora Classe S S26.22119 representada na imagem da figura 3.13. As características da bicicleta podem ser consultadas na tabela 3.3.



Figura 3.13: Bicicleta citadina de senhora Classe S S26.22119 [54]

Tabela 3.3: Características da bicicleta [54]

Quadro	Aço
Forqueta	Aço
Manipulos de mudança	RVS-Q 6 velocidades
Mudanças	SHIMANO TY21
Jogo Pedaleiro	Aço 46D
Travões	V-BRAKE em alumínio
Rodas	Órbita
Medida Quadro	19
Pneus	CITY - 26 X 1,3/8
Peso Bruto (kg)	19,50
Embalagem (mm)	1670 x 180 x 960

### 3.3 Monitorização experimental

Nesta secção será abordada toda a temática envolvente com a monitorização experimental, desde a instalação do equipamento de monitorização, os percursos monitorizados e as condições de condução. De realçar que foram realizados alguns testes preliminares de forma a verificar que todo o material funcionava em perfeitas condições e estava bem colocado na bicicleta, sem sofrer oscilações significativas que pudessem alterar os dados durante as viagens.

#### 3.3.1 Bicicleta equipada

Depois de reunido todo o equipamento necessário para a monitorização experimental, este foi montado na bicicleta de forma segura, para garantir estabilidade durante as viagens. O resultado final pode ser observado nas imagens das figuras 3.14 a 3.17. Optou-se por instalar no guiador o telemóvel e o *garmin* para que o condutor tivesse acesso direto aos dados durante a viagem, e a câmara de filmar para captar a viagem do ponto de vista do condutor (ver figuras 3.14 e 3.16). A placa com os sensores foi afixada na parte traseira da bicicleta (figuras 3.15 e 3.17) visto que a bicicleta possui uma pequena plataforma sobre a roda traseira (para prender malas e mochilas) o que permite que os sensores estejam na horizontal. Este aspeto é importante para a aquisição dos dados, especialmente no caso do giroscópio e acelerómetro, que necessitam de uma posição estável e plana para uma melhor interpretação dos dados. Na imagem 3.18 está representado um momento durante as monitorizações experimentais do percurso C.



Figura 3.14: Bicicleta equipada

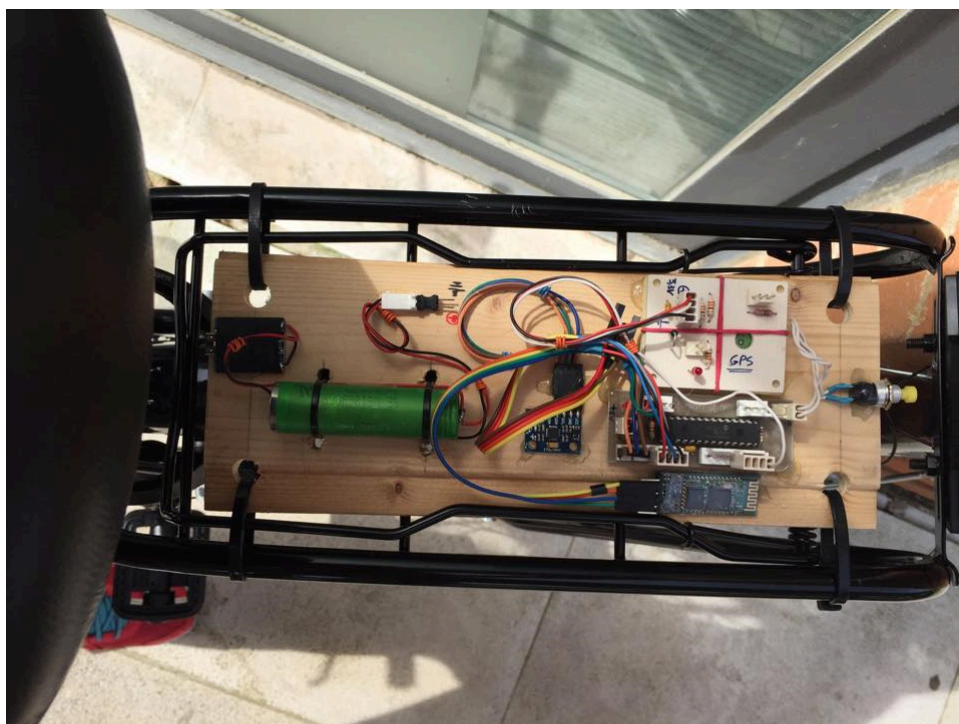


Figura 3.15: Bicicleta equipada - sensores instalados

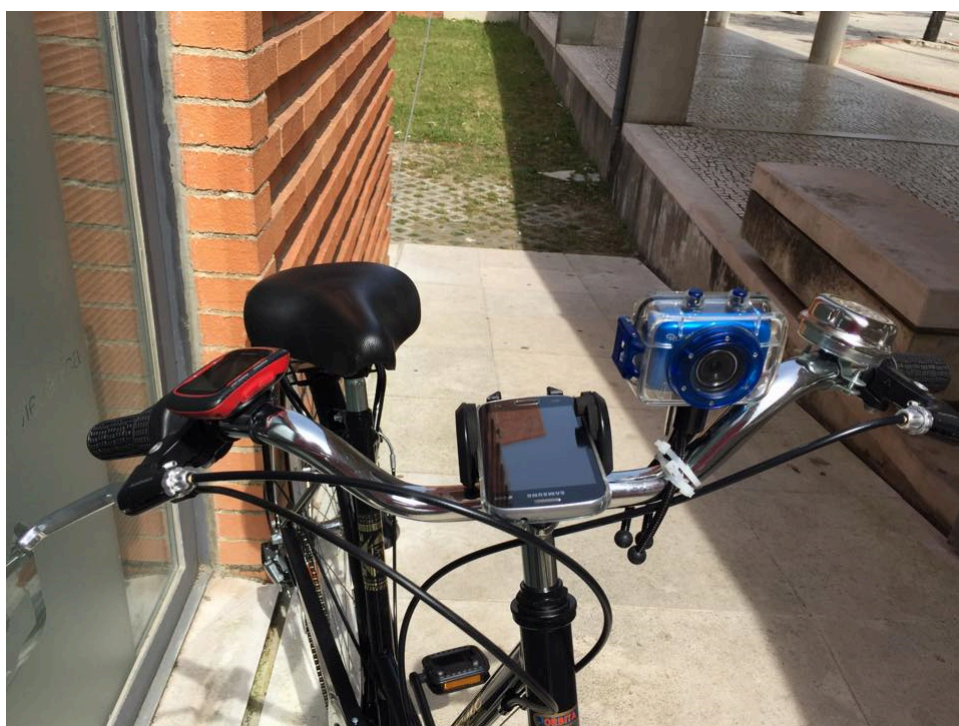


Figura 3.16: Bicicleta equipada - *smartphone*, *garmin edge* e câmara de filmar





Figura 3.17: Bicicleta equipada



Figura 3.18: Durante as monitorizações experimentais

### 3.3.2 Percursos

Para a seleção dos percursos a monitorizar foi levado em consideração o interesse deste estudo para a comunidade uma vez que este trabalho decorre no âmbito do projeto 'Deslocações seguras para a UA' dinamizado pela Plataforma Tecnológica da Bicicleta e Mobilidade Suave da Universidade de Aveiro. Foram selecionados os percursos com maior afluência populacional em horas de ponta e num período semanal.

Sendo o comboio um meio de transporte público utilizado por um elevado número de estudantes para se deslocarem até à Universidade, assim como por outros cidadãos que optam por este meio para se deslocarem até ao local de trabalho, selecionou-se como ponto de partida a estação de Aveiro, como destino optou-se pela Universidade de Aveiro. No entanto existem várias alternativas para a realização desta viagem, deste modo foram definidos três trajetos distintos: percurso A, B e C, que se encontram assinalados na figura 3.19.

Facilmente se pode observar pelas figuras apresentadas que os percursos selecionados apresentam diferentes características, como a distância entre o ponto de partida e chegada, utilização de vias principais ou secundárias da cidade, número de rotundas e semáforos, vias especiais para ciclistas, entre outras. Estes detalhes serão devidamente analisados e comparados no capítulo intitulado 'Resultados e Discussão', no entanto na tabela 3.4 apresenta-se em resumo as características de cada percurso.

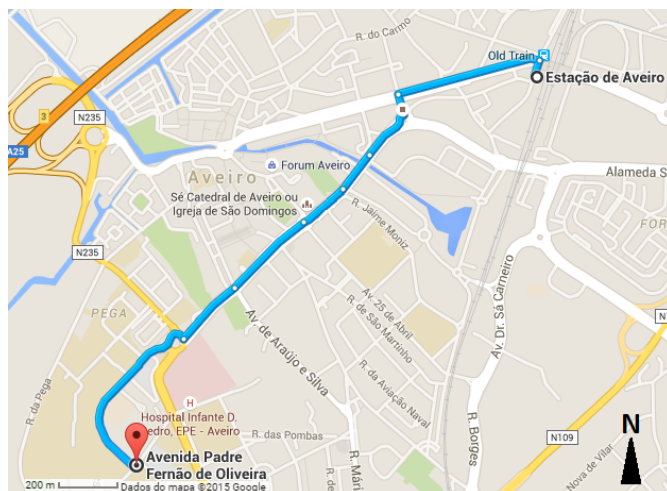
A extensão dos percursos A e B é semelhante, 2,4 e 2,3 km respetivamente. Ambos os percursos contemplam de ciclovia na Avenida Doutor Lourenço Peixinho (cerca de 0,5 km) e ciclofaixa na Avenida Santa Joana (cerca de 0,5 km). Ao percurso B acrescenta-se mais 400 m de ciclovia na Avenida Padre Fernão de Oliveira. Deste modo, tem-se para o percurso A cerca de 1,4 km de vias destinadas ao ciclista e 1 km para o percurso B, aproximadamente.

O percurso C é o mais longo dos três percursos definidos, tem cerca de 3,9 km. Mas em contrapartida é o trajeto que contempla uma maior extensão de vias dedicadas para ciclistas, nomeadamente ao longo da Avenida Doutor Lourenço Peixinho (cerca de 1,1 km) na Rua da Pega (cerca de 850 m) e no *campus* da Universidade de Aveiro (cerca de 700 m), o que representa um total de 2,65 km em ciclovia, aproximadamente [55].

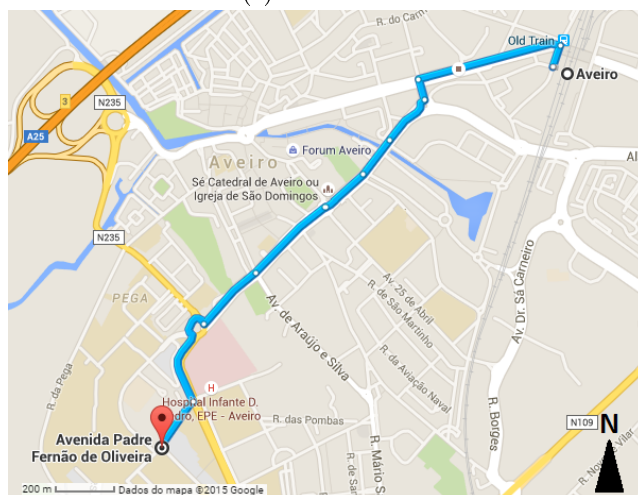
Na figura 3.20 pode-se verificar as ciclovias e ciclofaixas presentes nos percursos monitorizados [55]. Cada percurso foi monitorizado seis vezes no sentido estação - Universidade de Aveiro. Contabilizando-se no total cerca de 51,6 km de monitorizações.

Tabela 3.4: Características dos percursos monitorizados

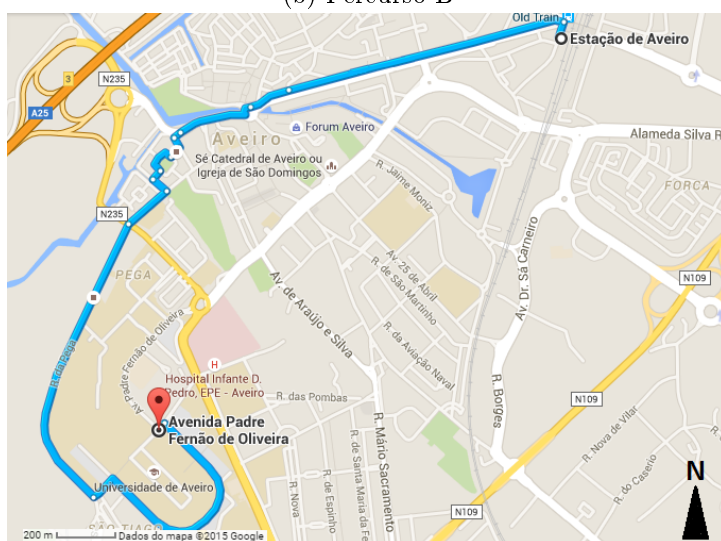
	Percurso A	Percurso B	Percurso C
Distância [km]	2,4	2,3	3,9
Ciclovias e ciclofaixas [km]	1,4	1	2,7
Número de rotundas	2	2	1
Número de cruzamentos semaforizados	2	2	6
Cruzamentos com cedências de prioridade e/ou sinal 'stop'	1	1	3



(a) Percursos A



(b) Percursos B



(c) Percursos C

Figura 3.19: Percursos A, B e C [55]







## Capítulo 4

# Resultados e Discussão

Neste capítulo seguem-se todos os resultados obtidos nas monitorizações experimentais. Os resultados serão apresentados, comparados e discutidos de forma a obter conclusões sobre o funcionamento do protótipo do laboratório de sensores e sobre os três percursos em estudo. O principal intuito será avaliar e comparar os três trajetos analisados de modo a avaliar qual o percurso que oferece melhores condições para o ciclista. Deste modo para cada trajeto analisado será criado um perfil de velocidade, altitude, de aceleração e ângulo de rotação com base nos dados recolhidos. Neste capítulo apenas será apresentada uma análise por cada percurso, em anexo encontram-se todos os resultados obtidos na totalidade dos testes experimentais.

### 4.1 Perfil de velocidade

São inúmeros os fatores que podem afetar a velocidade de um veículo ao longo do seu percurso, nomeadamente paragens necessárias/obrigatórias que fazem a velocidade decair até 0 km/h.

A velocidade de um ciclista num centro urbano não depende apenas do seu desempenho. Elementos arquitetónicos, como rotundas e cruzamentos, regras e sinais de trânsito como semáforos e cedências de passagem contribuem para oscilações de velocidade ao longo de um percurso. Desta forma serão analisados e descritos todos os fatores identificados que desde logo sabe-se que vão interferir com o perfil de velocidade de cada percurso analisado.

Dos testes realizados, selecionou-se um dos que se identifica melhor com a realidade, visto que em alguns testes obteve-se valores anormais. Os gráficos correspondentes aos dados de velocidade obtidos durante as viagens realizadas apresentam-se nas figuras 4.1 a 4.3.

No gráfico seguinte (figura 4.1) a curva inicia-se com um pequeno período de velocidade nula que corresponde ao tempo esperado para iniciar marcha na estação de Aveiro, depois a velocidade sobe até aos 20 km/h que corresponde ao primeiro troço da Avenida Doutor Lourenço Peixinho. Segue-se um decaimento da velocidade até aos 4 km/h que corresponde a uma diminuição de velocidade devido à presença de um sinal vertical de cedência de passagem na mesma avenida. O ciclista volta a aumentar a velocidade até atingir cerca de 16 km/h seguindo-se novamente um decaimento da velocidade até 0 km/h, esta paragem deve-se à viragem para a Rua do Engenheiro Oudinot com presença

de sinalização luminosa, o ciclista manteve-se parado por 4 segundos. Depois continua viagem verificando-se dois momentos de diminuição de velocidade, sendo que o primeiro corresponde à saída de uma rotunda com presença de passadeira para passagem de peões na Rua Cmte. Rocha e Cunha e o segundo momento corresponde à proximidade de lombas de redução de velocidade na ponte Avenida 5 de Outubro. A paragem que se verifica perto dos 300 segundos de viagem corresponde à entrada na rotunda entre a Avenida 5 de Outubro e a Avenida Santa Joana, o ciclista manteve-se imóvel por 5 segundos. Volta-se a registar um aumento de velocidade até 19 km/h seguida de uma paragem que se prolonga por 17 segundos, correspondente a um cruzamento semaforizado na Avenida Santa Joana. Antes do ciclista terminar a viagem verifica-se novamente um decaimento acentuado da velocidade correspondendo à entrada na rotunda entre a Avenida Artur Ralara e Avenida Padre Fernão Oliveira, verificando-se depois uma velocidade máxima atingida de 18 km/h na ciclovía do campus da Universidade.

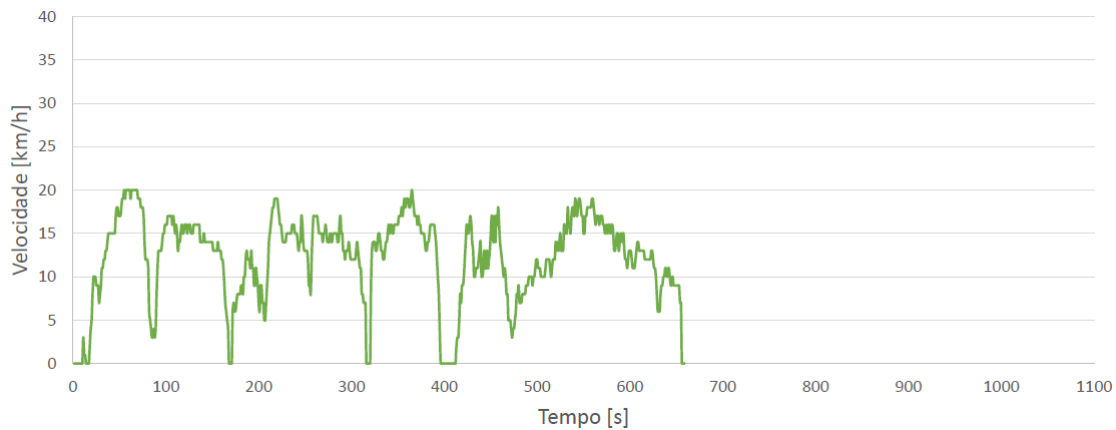


Figura 4.1: Perfil de velocidade - Percurso A

Tabela 4.1: Características da viagem - Percurso A

Duração da viagem	11 min 23 seg
Tempo da viagem sem movimento	44 seg
Velocidade média [km/h]	12
Velocidade máxima [km/h]	20
Número de paragens	3

Relativamente ao percurso B (figura 4.2) à semelhança do percurso A, o ciclista inicia marcha apresentando um aumento gradual da velocidade, chegando a atingir 35 km/h na Avenida Doutor Lourenço Peixinho, seguindo-se uma diminuição de velocidade até 0 km/h, correspondendo mais uma vez à viragem para a Rua do Engenheiro Oudinot, a paragem prolongou-se por 35 segundos. O condutor continua marcha com aumento gradual de velocidade e suaves oscilações até diminuir a velocidade até 3 km/h. Esta diminuição verifica-se novamente na entrada da rotunda entre a Avenida 5 de Outubro e a Avenida Santa Joana. Após a passagem pela rotunda a velocidade volta a aumentar até atingir os 21 km/h na Avenida Artur Ralara acabando por diminuir até 4 km/h

na entrada da rotunda no fim da mesma avenida. Segue-se novamente um aumento de velocidade seguido de uma diminuição de velocidade que corresponde à presença de uma passareira para atravessamento de peões na Avenida da Universidade.

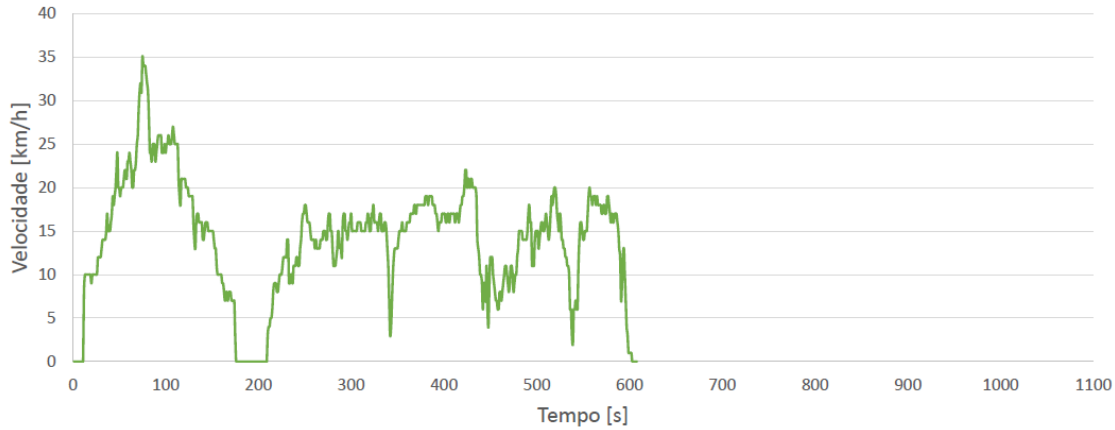


Figura 4.2: Perfil de velocidade - Percurso B

Tabela 4.2: Características da viagem - Percurso B

Duração da viagem	10 min 6 seg
Tempo da viagem sem movimento	52 seg
Velocidade média [km/h]	14
Velocidade máxima [km/h]	35
Número de paragens	1

Relativamente ao percurso C (figura 4.3) verifica-se a velocidade máxima atingida ao longo do primeiro troço da Avenida Doutor Lourenço Peixinho (troço em comum com os 3 percursos). Verifica-se duas ligeiras diminuições de velocidade até 13 km/h na aproximação de um cruzamento com cedência de prioridade e até 10 km/h num cruzamento semaforizado ao longo da Avenida Doutor Lourenço Peixinho. Na mesma avenida, surgem dois cruzamentos com semáforo que obrigam o condutor a parar por 39 e 12 segundos. Verifica-se, em seguida, uma diminuição de velocidade na entrada da rotunda na Rua de Viana do Castelo a 6 km/h e no Cais dos Santos Mártires a 4 km/h na aproximação de cruzamento com presença de sinalização vertical stop. Verifica-se uma paragem de 12 segundos no cruzamento semaforizado entre a Rua dos Santos Mártires e a Rua da Pega (é de notar que os semáforos encontravam-se desativados no momento das monitorizações). São detetados três decaimentos da velocidade na Rua da Pega, sendo os dois primeiros justificados devido a presença de veículos ligeiros estacionados indevidamente na ciclovia, exigindo por parte do condutor manobras de ultrapassagem fora da ciclovia, a terceira diminuição de velocidade corresponde à viragem da Rua da Pega para o campus da Universidade. A próxima paragem realizada corresponde à entrada na ciclovia do campus da Universidade e tomou 6 segundos da viagem. Até ao fim da viagem, o condutor diminui a velocidade até 4 km/h devido a um troço com o piso em mau estado, que foi causado pela presença de obras no espaço.

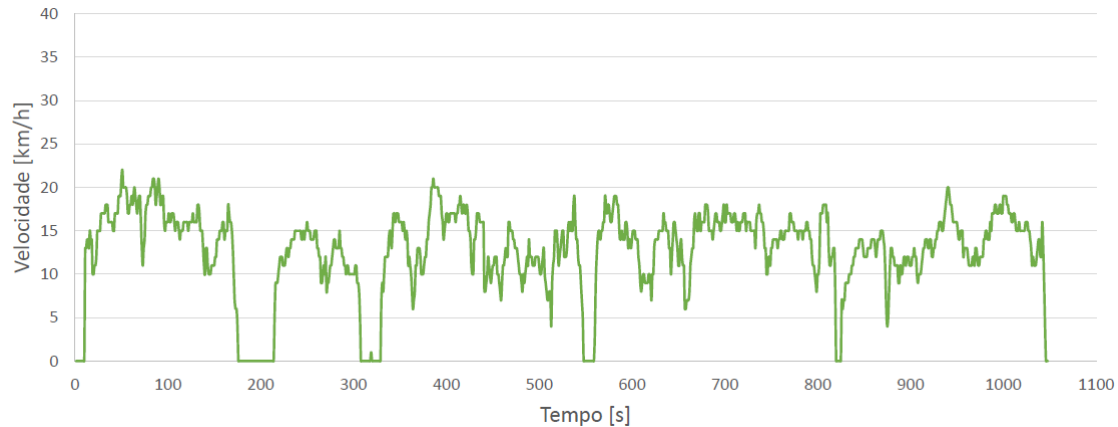


Figura 4.3: Perfil de velocidade - Percurso C

Tabela 4.3: Características da viagem - Percurso C

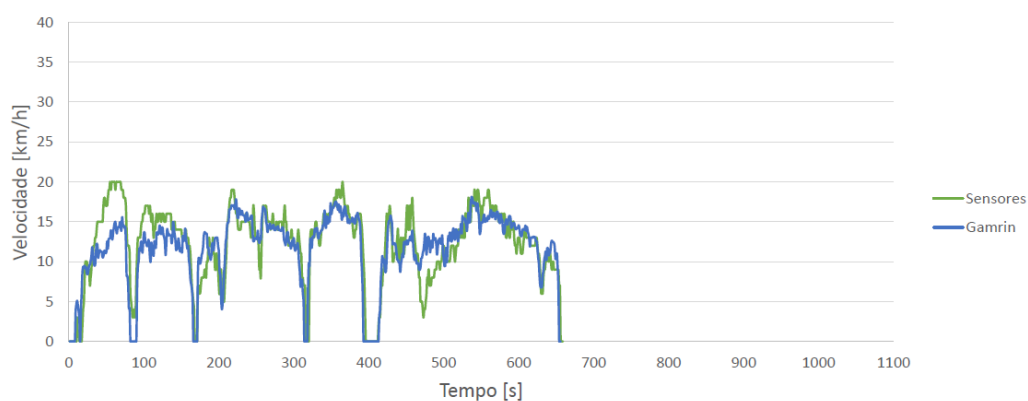
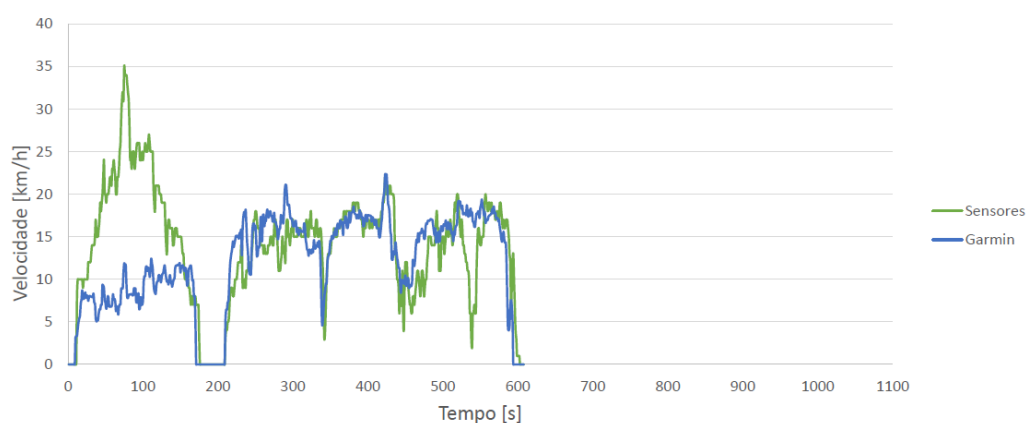
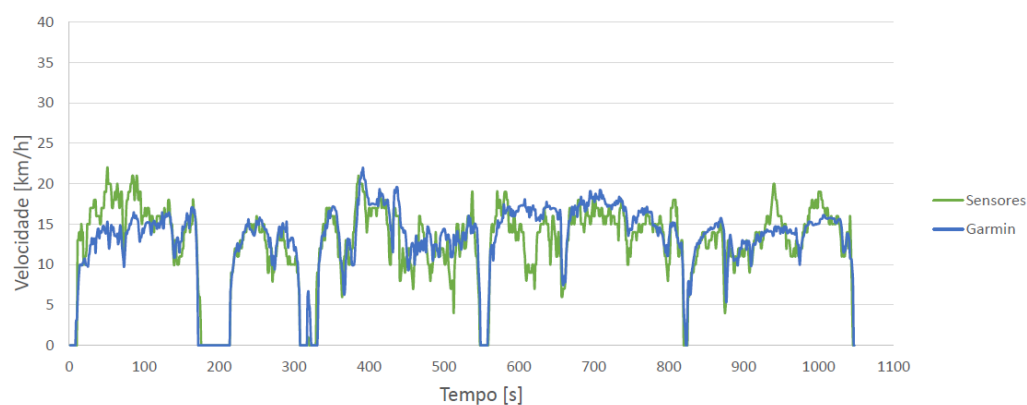
Duração da viagem	17 min 25 seg
Tempo da viagem sem movimento	1 min 57 seg
Velocidade média [km/h]	13
Velocidade máxima [km/h]	22
Número de paragens	4

De forma a comparar os resultados obtidos com o GPS utilizado, seguem-se nas figuras 4.4 a 4.6 a comparação entre os valores de velocidade analisados anteriormente com os valores de velocidade obtidos com o dispositivo *garmin edge 500*.

No gráfico da figura 4.4 verifica-se uma diferença significativa entre os valores obtidos nos intervalos entre 0 a 100 segundos e de 400 a 500 segundos de viagem, sendo que se verifica uma diferença de aproximadamente 35% e 74%.

No gráfico da figura 4.5 verificam-se as maiores diferenças nos intervalos de tempo [0;200] e [500;600] segundos, com diferenças percentuais de aproximadamente 83% e 66%.

Relativamente ao gráfico 4.6 detetam-se maiores divergências de valores nos intervalos [0;100], [500;700] e [900;1000] segundos. O primeiro intervalo correspondem a uma diferença percentual de 44%, no intervalo seguinte verificam-se dois 'picos' de valores que sobressaem dos restantes, correspondendo a diferenças percentuais de 70% e 58% e por fim no último intervalo verifica-se uma diferença de 46% nos valores obtidos.

Figura 4.4: Perfil de velocidade - Percurso A vs *Garmin Edge*Figura 4.5: Perfil de velocidade - Percurso B vs *Garmin Edge*Figura 4.6: Perfil de velocidade - Percurso C vs *Garmin Edge*

Para compreender da melhor maneira possível os resultados obtidos é necessário en-

tender como funciona o sensor responsável por estas leituras, e porque que se observam diferenças nos valores obtidos com os dois equipamentos utilizados. Os valores apresentados anteriormente foram medidos através do GPS. Quando se refere a um GPS - Sistema de Posicionamento Global, geralmente significa um recetor GPS, que é um sistema de navegação baseado numa constelação de 24 satélites colocados em órbita pelo Departamento de Defesa dos EUA. Este sistema foi originalmente planeado para aplicações militares, mas na década de 1980, o governo fez o sistema disponível para uso civil. O seu funcionamento baseia-se na receção de sinal GPS enviado pelos satélites e através de um cálculo denominado de triangulação, obtém-se a localização exata do utilizador. Essencialmente, o recetor de GPS compara o tempo entre o envio e receção de um sinal do satélite, descobrindo assim a distância ao satélite. O recetor de GPS deve ser bloqueado para o sinal de, pelo menos, três satélites para calcular uma posição 2D (latitude e longitude), com quatro ou mais satélites à vista, o recetor pode determinar a posição 3D do utilizador (latitude, longitude e altitude). Uma vez que a posição do utilizador é determinada, a unidade GPS pode calcular outras informações, tais como velocidade, direção, distância de viagem, distância ao destino e muito mais [57]. A velocidade é medida com base na distância que o dispositivo se moveu desde a última medição, para o efeito é utilizado o deslocamento *Doppler*. Deve também ser notado que a velocidade de leitura é normalizada, e não uma velocidade instantânea [58].

Uma possível justificação para a diferença observada entre as curvas dos gráficos das figuras 4.4 a 4.6 baseia-se na tecnologia presente no dispositivo *garmin*: WAAS (*Wide Area Augmentation System*) que pode aumentar a precisão em três metros, em média e a tecnologia *HotFix* que permite a redução do tempo necessário para obter uma correção dos satélites, uma vez que utiliza cálculos de previsão das posições dos satélites [57].

Mas, no geral, os recetores GPS apresentam erros de leitura que rondam os valores apresentados na tabela da figura 4.7 devido a vários fatores que degradam o sinal e portanto afetam a exatidão dos resultados [57 e 59].

GPS Horizontal Errors	
Ionospheric effects	$\pm 5\text{m}$
Shifts in satellite orbits	$\pm 2.5\text{m}$
Clock errors on satellite's clocks	$\pm 2\text{m}$
Multipath effect	$\pm 1\text{m}$
Tropospheric effects	$\pm 0.5\text{m}$
Calculation and rounding errors	$\pm 1\text{m}$
Total	$\pm 15\text{m}$

Figura 4.7: Erro associado à leitura GPS horizontal (latitude e longitude) [59]

- Atrasos na ionosfera e troposfera - O sinal do satélite enfraquece à medida que

passa através da atmosfera. O sistema GPS usa um modelo integrado que calcula uma quantidade média de atraso para corrigir parcialmente para este tipo de erro;

- Erros orbitais - Também conhecido como erros de efemérides, estes são imprecisões da posição informada do satélite;
- Erros do relógio do recetor - O relógio de um recetor não é tão preciso como os relógios atômicos a bordo dos satélites GPS. Portanto, pode surgir erros mínimos de cronometragem;
- Multitrajeto - Isto ocorre quando o sinal GPS é refletido em objetos, tais como edifícios altos ou grandes superfícies rochosas, antes de chegar ao recetor. Isso aumenta o tempo de viagem do sinal, causando assim erros;
- Número de satélites visíveis - Quanto mais satélites um recetor GPS pode 'ver', melhor a precisão. Edifícios, terrenos, interferência eletrônica, ou às vezes até mesmo folhagem densa podem bloquear a receção do sinal, causando erros de posição ou possivelmente nenhuma leitura de posição;
- Geometria / sombreamento do satélite - Este refere-se à posição relativa dos satélites. Existe uma geometria de satélite ideal quando os satélites estão localizados em ângulos de largura em relação à outra. O resultados obtidos quando os satélites estão localizados numa linha ou num agrupamento apertado apresentam maior margem de erro.

## 4.2 Perfil de altitude

Como já foi referido no capítulo da Introdução da presente dissertação, a altitude é também um dos fatores que influencia a taxa de utilização da bicicleta. Aveiro é caracterizado com um declive médio inferior a 5% e verifica-se uma clara evidência para o aumento da taxa de utilização da bicicleta comparando com os restantes municípios que apresentam declives médios superiores. O valor de altitude ao longo do trajeto percorrido é fornecido pelo GPS, assim como as coordenadas latitude e longitude. Apesar das coordenadas obtidas ao longo dos percursos apresentarem pouco erro, relativamente à altitude verifica-se o contrário. Facilmente se observa as curvas originadas através dos valores de altitude obtidos com o GPS e concluiu-se a existência de erros significativos na leitura de sinal.

Como já referido anteriormente, o sistema GPS funciona através de um cálculo de triangulação. O modelo global mais conhecido é o Sistema Geodésico Mundial estabelecido em 1984 (WGS84). Este modelo define a Terra como uma elipsoide: 'uma bola achatada', que representa uma boa aproximação para o nível médio do mar ao redor do planeta, mas é reconhecido como tendo erros de entre -100 m e 70 m em relação ao geóide. O erro associado ao eixo Z vertical é cerca de três vezes mais os erros horizontais (latitude e longitude), erros esses que ocorrem devido à posição dos satélites acima do globo. No total está associada uma precisão total superior a  $\pm 15$  m na horizontal, e de cerca de  $\pm 45$  m no eixo vertical. Mais uma vez, se as condições de receção de sinal não forem favoráveis o erro aumenta [59].

Para verificar o correto perfil de altitude de cada percurso recorreu-se a uma ferramenta *on-line*, denominada GPS *Visualizer* [60]. Esta ferramenta calcula o valor de

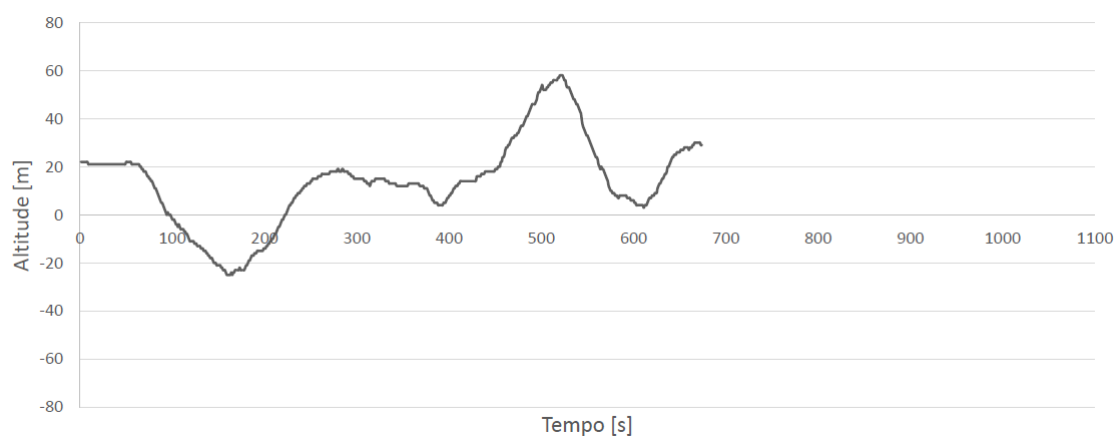
altitude através dos valores de latitude e longitude que se insere como dado de entrada no programa. De salientar que os valores de latitude e longitude utilizados foram os obtidos com o GPS nas monitorizações realizadas. Ao contrário do realizado anteriormente no perfil de velocidade, estes valores não serão comparados com os valores fornecidos pelo equipamento *garmin*, uma vez que também neste equipamento foram detetados erros de leitura de altitude. Seguidamente serão representados os perfis de altitude construídos através dos dados originais de altitude obtidos com o sensor GPS, e logo após serão comparados com os perfis obtidos com o GPS *Visualizer*.

Na figura 4.8 pode-se verificar os perfis de altitude obtidos para cada percurso. Desde logo realçam valores muito elevados, negativos e positivos o que indica logo a existência de uma grande margem de erro, deste modo a análise será realizada com os gráficos obtidos com o GPS *Visualizer*.

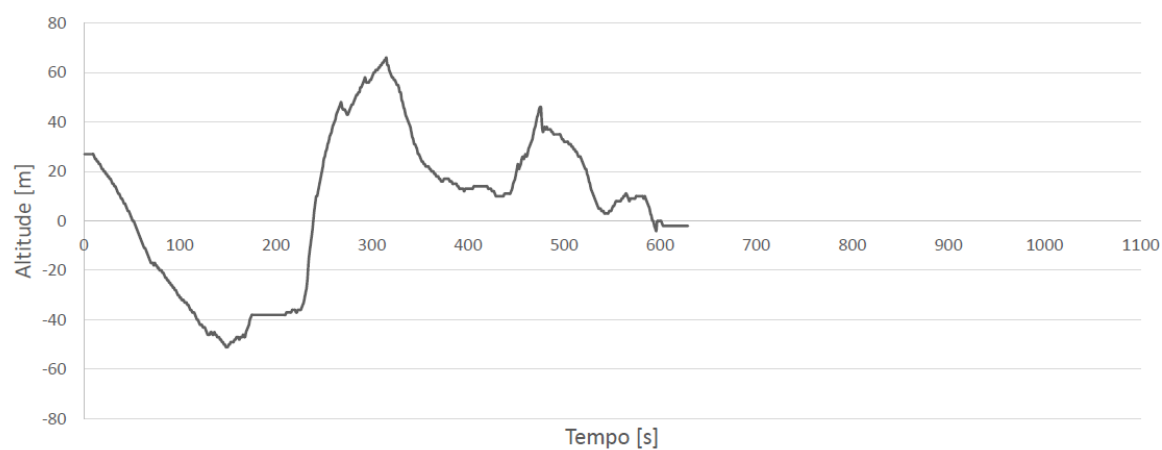
Através da análise dos gráficos da figura 4.9 pode-se verificar que o percurso A e B são muito semelhantes (figuras 4.9a e 4.9b). Verifica-se a altitude máxima de 21,2 m e 21 m respetivamente na Avenida Doutor Lourenço Peixinho, a 0,2 km, aproximadamente, de distância do ponto de partida. O ponto mais baixo registado com cerca de 7,8 m para o percurso A e 7,5 m para o percurso B corresponde à Avenida 5 de Outubro, verificando-se um aumento da altitude na Avenida Santa Joana, voltando a diminuir ligeiramente na Avenida Artur Ravara. O campus da Universidade corresponde a 12 m de altitude, aproximadamente. Com os intervalos de altitude dos percursos A e B verifica-se uma diferença de altitude ao longo de todo o percurso de 13,4 m e 13,5 m respetivamente.

Relativamente ao percurso C (figura 4.9c), verifica-se, de igual modo, a máxima altitude, de 21 m, na Avenida Doutor Lourenço Peixinho. Observa-se uma diminuição de elevação à medida que o condutor se dirige para a Rua da Pega, verificando-se um mínimo de -3,7 m (valor com erro associado) de altitude. À medida que o condutor se aproxima da universidade a altitude aumenta até 12 m de altitude aproximadamente. Ao longo deste percurso verifica-se uma diferença de altitude de 24,7 m.

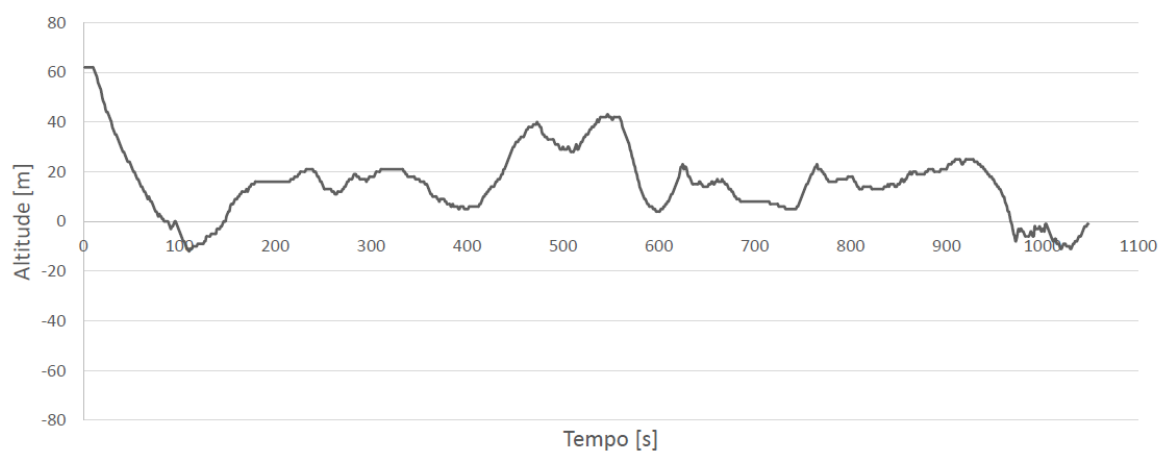




(a) Percurso A

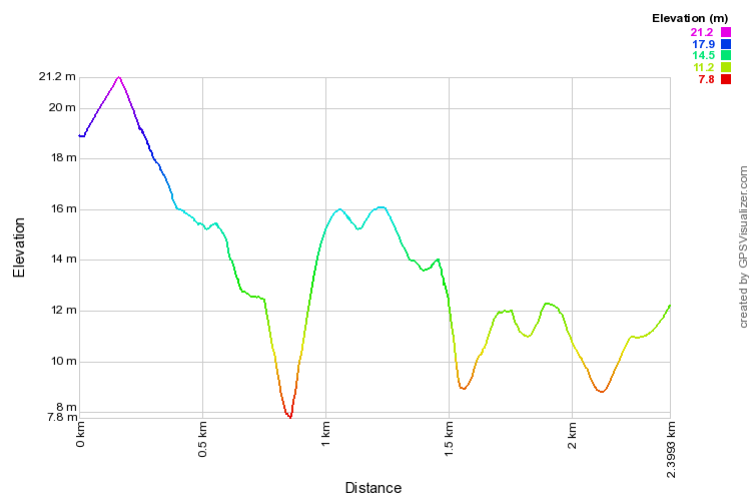


(b) Percurso B

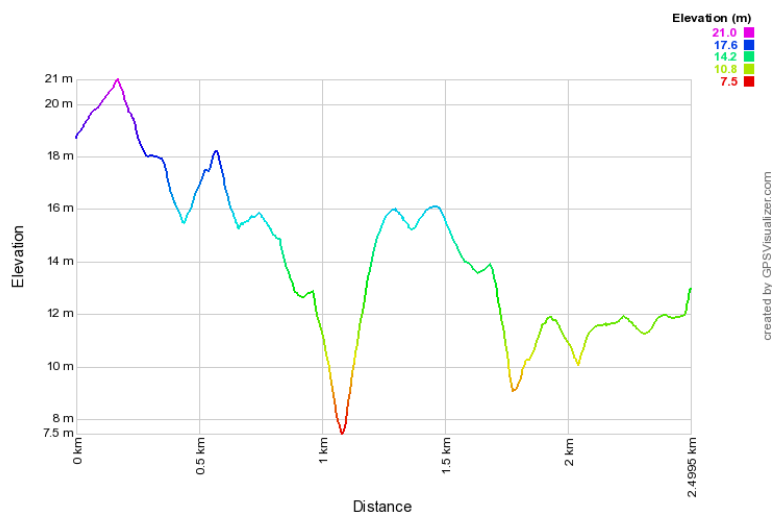


(c) Percurso C

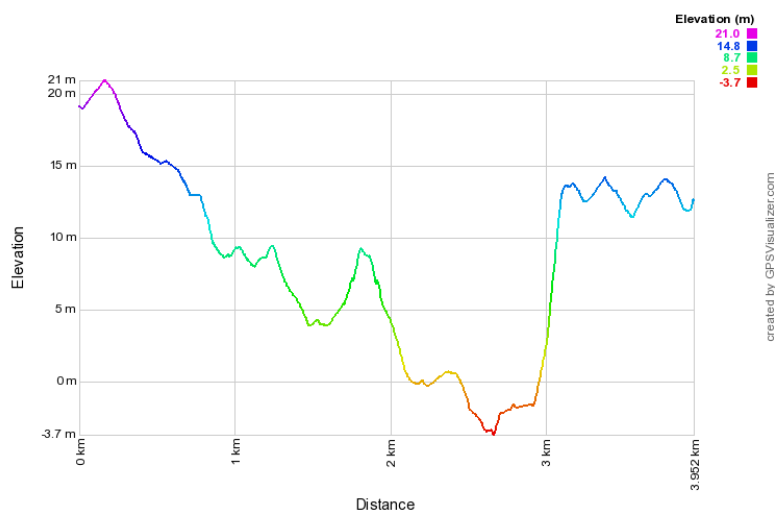
Figura 4.8: Perfil de altitude dos percursos A, B e C



(a) Percorso A



(b) Percorso B



(c) Percorso C

Figura 4.9: Perfil de altitude do GPS *Visualizer* dos percursos A, B e C [60]

### 4.3 Perfil de aceleração

A aceleração representa a taxa de variação (ou derivada em função do tempo) da velocidade. Através do perfil de aceleração de uma determinada viagem é possível obter informação quanto ao estilo de condução. Nesta secção são analisados os perfis de aceleração no sistema tri-axial.

Dois dos componentes analíticos mais importantes para a reconstrução de colisões são os fatores de aceleração e travagem. As taxas às quais um veículo pode parar ou acelerar são importantes para cálculos de tempo-distância, para a compreensão da travagem da bicicleta na avaliação de colisões aplicadas ao ciclista onde este deveria travar antes do impacto. Compreender as taxas de aceleração é também importante para avaliar a relação tempo-distância do ciclista quando este se encontra no tráfego e se encontra em posição de paragem.

Embora haja, atualmente, poucos dados publicados sobre a aceleração e travagem de bicicleta os regulamentos federais dos Estados Unidos exigem que a maioria das bicicletas seja capaz de parar dentro de 4,6 m a 24 km/h para um piloto que pese 68 kg, o que equivale a um fator de travagem de  $-0,50\text{ g}$  ( $-4,9\text{ m/s}^2$ ), sendo  $g$  a aceleração gravítica. [61].

No entanto, um estudo sobre fatores de aceleração e travagem de bicicletas de montanha revela alguns valores referentes à aceleração e desaceleração que foram utilizados como valores de referência. Esses valores podem ser consultados na tabela 4.4 [61].

Tabela 4.4: Valores de referência para aceleração e desaceleração em bicicleta [61]

Aceleração [ $\text{m/s}^2$ ]		Desaceleração [ $\text{m/s}^2$ ]	
Piso em bom estado	Piso acidentado	Piso em bom estado	Piso acidentado
1,27	0,98	-4,31	-3,82

De realçar que neste estudo foi utilizada uma bicicleta de estrada, e como tal as principais diferenças entre bicicletas de estrada e de montanha são principalmente devido às diferenças de suspensão e perfil do pneu o que altera as capacidades de aceleração e travagem da bicicleta. Devido ao facto de uma bicicleta de estrada ser mais leve que uma de montanha, permite que esta tenha valores de aceleração superiores, no entanto como os pneus de uma bicicleta de montanha são mais largos, estes permitem travagens mais rápidas [61].

Os dados obtidos referentes à aceleração através do sensor giroscópio e acelerómetro, apresentam bastante 'ruído', proveniente da bicicleta, e por isso torna-se muito difícil filtrar o sinal porque varia dependendo das condições da estrada e a velocidade do veículo. Deste modo, os perfis de aceleração serão apresentados com o auxílio de uma linha de tendência de média móvel (cor vermelha) com um período de 8 pontos, sendo que os dados originais apresentam-se no mesmo gráfico com uma cor sombreada.

Tendo em conta a posição do giroscópio na placa que se encontra afixada na bicicleta, a informação que se pode obter com a aceleração em cada eixo está descrita na tabela 4.5.

Tabela 4.5: Análise tri-axial da aceleração

Eixo	Direção	Movimento típico
X	esquerda/direita	Mudança de direção, mudança de faixa
Y	frente/trás	acelerações e travagens
Z	cima/baixo	vibrações e anomalias do piso

Se quando a amplitude dos valores de aceleração segundo o eixo longitudinal aumentam, reflete uma desaceleração, e se diminuem significa uma aceleração; por sua vez se a amplitude dos valores de aceleração segundo o eixo lateral aumentam, mostra que o condutor virou à direita, se os valores de aceleração diminuem, significa que o condutor virou à esquerda.

Vários estudos que incluem acelerómetros como material de medição apelam para a aplicação de um filtro de ruído adequado, tendo em conta que o acelerómetro funciona através das vibrações nele exercidas, facilmente se confunde o movimento do ciclista com o sinal de ruído proveniente do pavimento e da bicicleta. Autores também afirmam que manobras pouco evidenciadas - como mudanças de via (numa situação de condução não agressiva) - podem não ser detetadas, porque estes movimentos podem não exercer força suficiente ou rotação no dispositivo para se distinguir do ruído. Em testes realizados com veículos ligeiros verificou-se também, que a localização do acelerómetro pode causar diferença nos resultados obtidos, não só a sua inclinação, mas também se encontra-se na parte da frente do veículo ou atrás, pois as vibrações sentidas pelo dispositivo são diferentes [62-65]. Desta forma, surgem alguns indicadores de possíveis justificações para alguns erros detetados na análise dos gráficos obtidos.

De modo a evitar uma descrição exaustiva dos gráficos representados, foram desenhados círculos nos pontos dos gráficos onde se revela maior interesse de análise.

Os resultados obtidos durante as monitorizações para a aceleração do percurso A apresentam-se na figura 4.10. O primeiro círculo assinalado no gráfico da figura 4.10a corresponde à aceleração no início da marcha, sendo o segundo círculo assinalado correspondente à mudança de direção da Avenida Doutor Lourenço Peixinho para a Rua do Engenheiro Oudinot o que corresponde a uma viragem para a esquerda. No que se refere ao segundo círculo, as coordenadas geográficas apontam para uma zona com semáforo na Avenida Santa Joana para a Avenida Artur Ravares, a curva não representa nenhuma viragem significativa, pelo que poderá representar apenas uma ligeira viragem da bicicleta no início de marcha depois da sinalização luminosa o permitir. No gráfico da figura 4.10b apresenta-se representado no primeiro círculo uma travagem que corresponde a uma mudança de direção na Avenida Doutor Lourenço Peixinho, enquanto que o segundo ponto assinalado corresponde à Avenida Artur Ravares, com a presença de lombas.

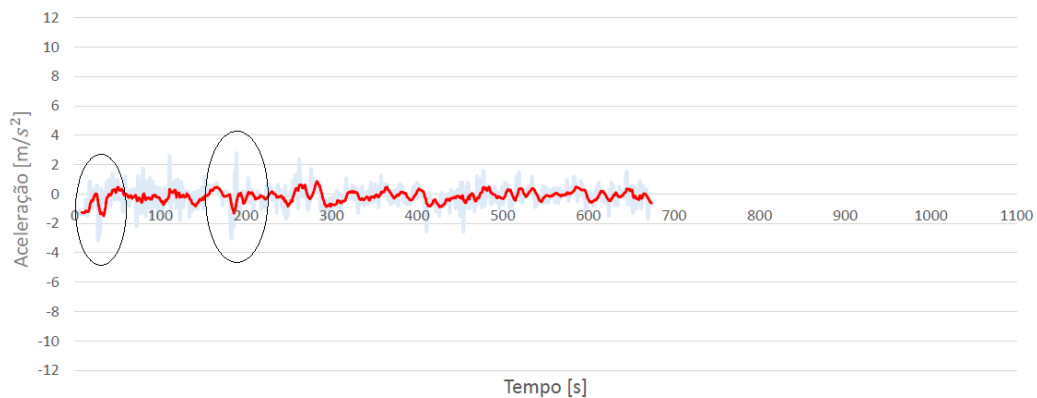
Comparativamente ao gráfico da figura 4.10c o ponto assinalado representa-se na ponte da Avenida 5 de Outubro com a presença de lombas. O segundo ponto assinalado com forte aceleração segundo Z corresponde à Avenida Santa Joana, onde não se verifica a presença de lombas, mas as coordenadas situam-se num troço em que a via se encontra em mau estado.

Quanto aos resultados do percurso B, podem observar-se os perfis de aceleração obtidos na figura 4.11. Relativamente ao perfil de aceleração segundo X (figura 4.11a) o primeiro ponto destacado corresponde à mudança de direção da Avenida Doutor Lourenço Peixinho para a Rua do Engenheiro Oudinot sendo que o segundo corresponde a Avenida

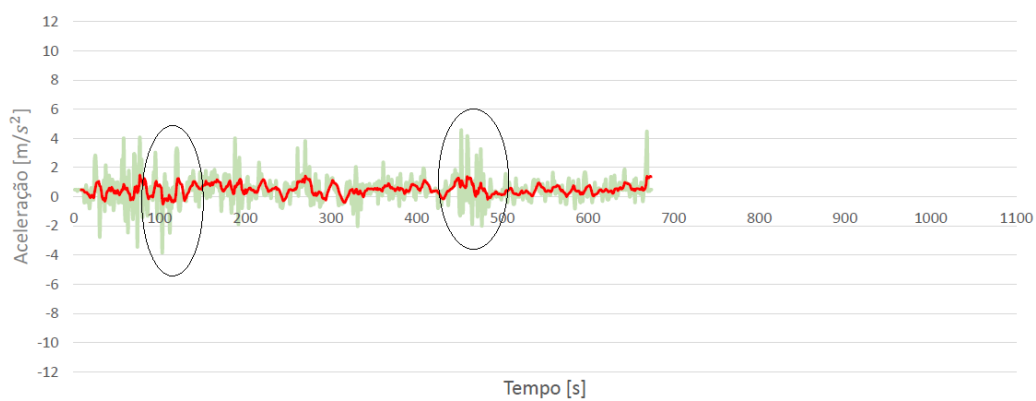
Artur Ravara. Este último não representa nenhum fator que justifique uma viragem à direita. Quanto ao gráfico da figura 4.11b o primeiro ponto refere-se a uma aceleração e corresponde ao local onde o ciclista necessita de atravessar 3 vias no mesmo sentido para mudar da ciclofaixa que termina para a ciclovia na Avenida Doutor Lourenço Peixinho. A travagem realizada no segundo ponto corresponde à Avenida Artur Ravara, devido à presença de lombas na via. No que concerne ao perfil de aceleração segundo Z (gráfico da figura 4.11c), o primeiro ponto assinalado corresponde à Avenida 5 de Outubro nomeadamente com a presença de lombas. Em relação ao segundo ponto assinalado este corresponde à Avenida Artur Favara, não existindo qualquer elemento intencionalmente localizado nesta avenida para reduzir velocidade, pode-se atribuir efeito à alguma zona da via que se encontre mais acidentada. Por fim na figura 4.12 encontram-se os gráficos representativos dos perfis de aceleração segundo os três eixos para o percurso C.

No gráfico da figura 4.12a sobressai um ponto onde a aceleração segundo X atinge valores máximos. Este ponto corresponde ao cruzamento entre a Rua dos Santos Mártires e a Rua da Pega, onde existe uma mudança de faixa para o condutor entrar na ciclovia da Rua da Pega. Mas tal mudança não justifica o valor excessivo obtido, neste caso poderá corresponder a um erro de leitura por parte do sensor. Relativamente ao gráfico da figura 4.12b o primeiro ponto da viagem assinalado que corresponde a uma travagem (desaceleração) coincide com a presença de sinalização luminosa, na Avenida Doutor Lourenço Peixinho. O segundo ponto assinalado corresponde à entrada na rotunda da Rua de Viana do Castelo, o facto de se verificar uma aceleração brusca pode significar a presença de tráfego e ser necessária uma rápida passagem pela rotunda. No que se refere aos pontos assinalados no gráfico da figura 4.12c, estes referem-se à saída da rotunda da Rua de Viana do Castelo e à entrada na ciclovia do campus da Universidade, respetivamente. Os valores obtidos para o segundo local não são justificáveis, pois não foram assinaladas causas possíveis para tais valores, mais uma vez poderá tratar-se de um erro de leitura.

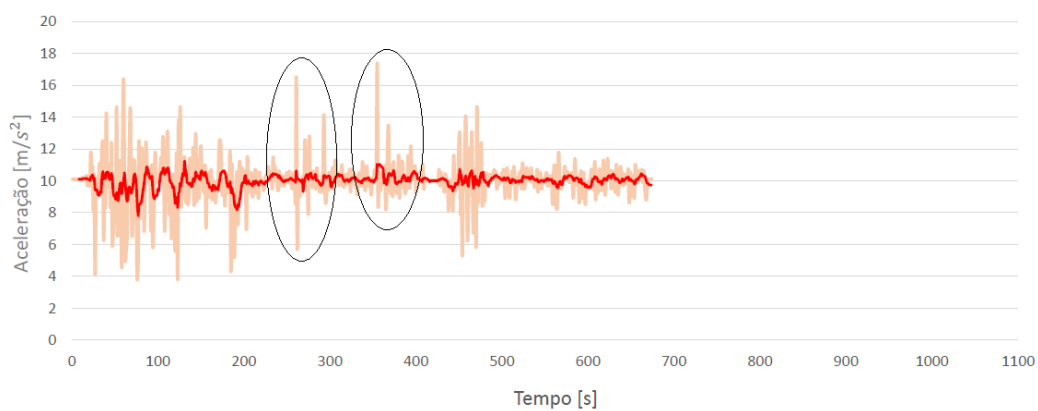
Estes erros podem ser derivados de vários fatores. Com um único acelerómetro, separar a componente gravítica da aceleração propriamente dita para compensar as mudanças de orientação do referencial do acelerómetro é impossível com a eficiência necessária para a medição de deslocamentos. Para este efeito, é necessário usar um giroscópio triaxial (como é o caso), mas idealmente, mais do que um. Esta é, aliás, a solução típica em sistemas de navegação inercial. Autores afirmam que um modelo básico com seis acelerómetros permite determinar o centro de massa da aceleração e o desvio da aceleração angular, sendo então possível determinar a velocidade angular, a orientação angular e, por fim, compensar a gravidade para extrair a aceleração, mas mesmo assim existem erros que limitam as medições. Um pequeno viés na medida provoca erros muito elevados volvidos apenas alguns segundos. O erro da velocidade é 0,589 m/s por mg por min, o da posição é 17,66 m por mg por min<sup>2</sup>. Consequentemente, um viés de 2 mg provoca erros de velocidade de 1,178 m/s ao fim de um minuto, nas mesmas circunstâncias, o erro da posição é de 35,32 m [66].



(a) Aceleração segundo X

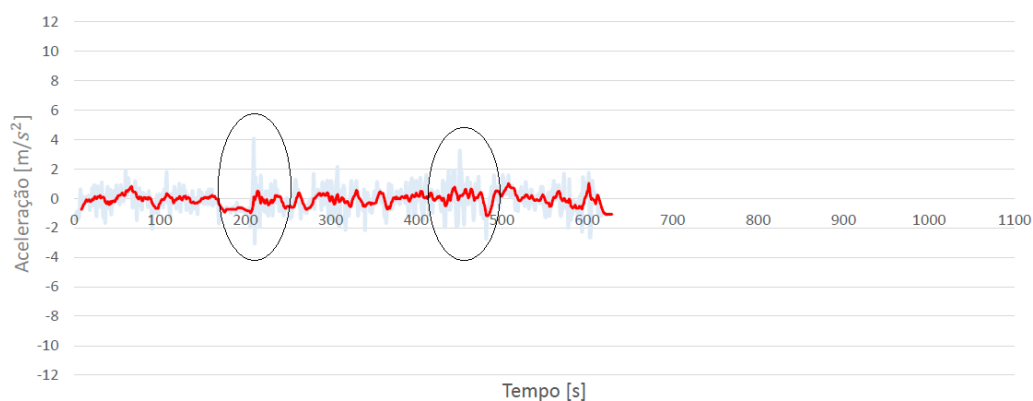


(b) Aceleração segundo Y

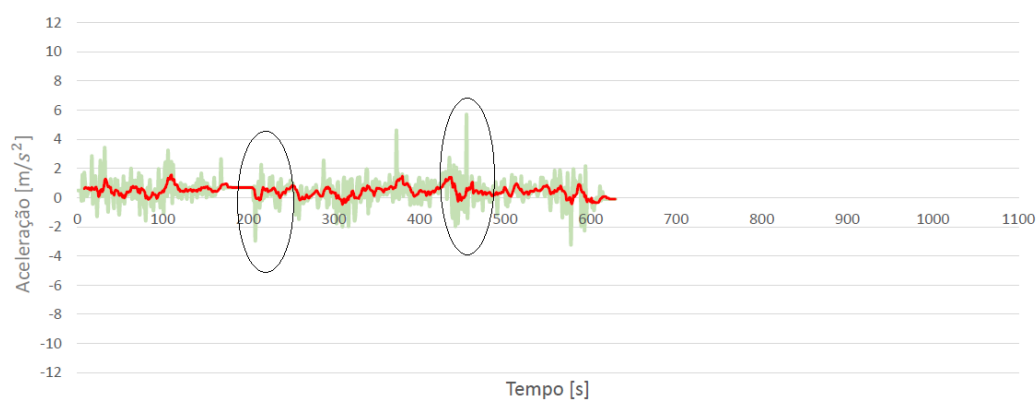


(c) Aceleração segundo Z

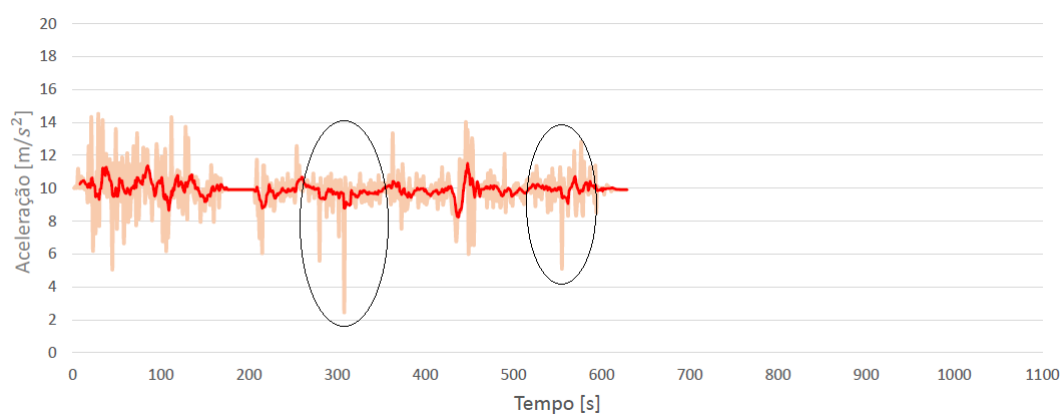
Figura 4.10: Aceleração - Percurso A



(a) Aceleração segundo X

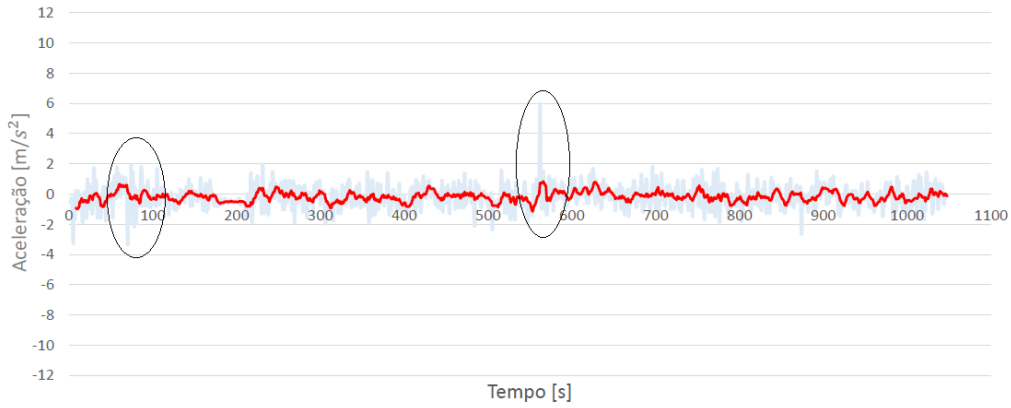


(b) Aceleração segundo Y

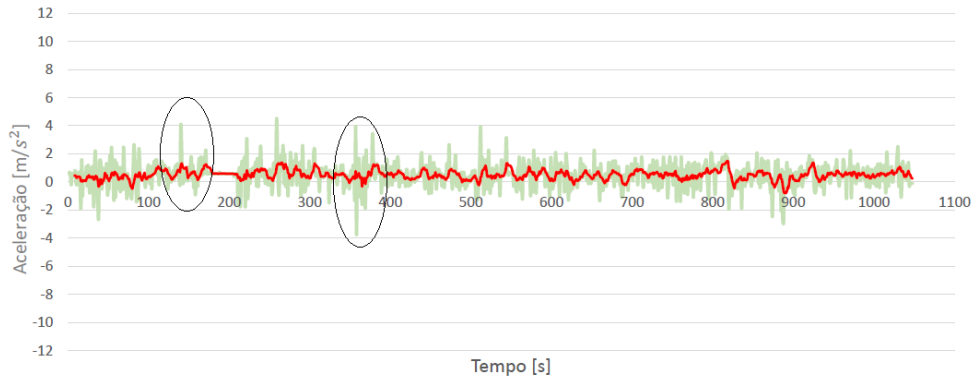


(c) Aceleração segundo Z

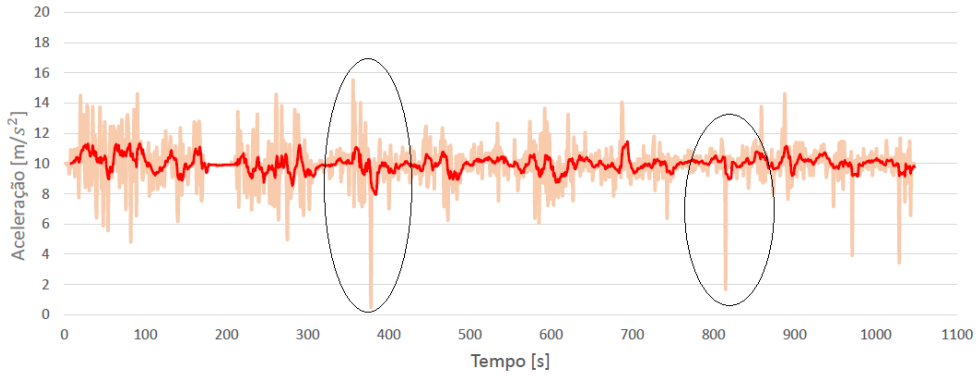
Figura 4.11: Aceleração - Percurso B



(a) Aceleração segundo X



(b) Aceleração segundo Y



(c) Aceleração segundo Z

Figura 4.12: Aceleração - Percurso C

#### 4.4 Perfil de ângulo de rotação

Os resultados obtidos relativamente ao ângulo de rotação, durante as primeiras monitorizações realizadas, revelaram-se inconclusivos. Desta forma foram realizadas novas monitorizações com o intuito de averiguar o perfil de ângulo de rotação dos percursos monitorizados. As monitorizações experimentais realizadas posteriormente seguiram as



mesmas condições de condução que as anteriores, alterando apenas o número de repetições de cada percurso, que resumiram-se a 3 repetições de cada percurso no sentido estação - Universidade e realizaram-se no dia 16 de junho, terça-feira no período entre as 9 e as 13h.

O perfil de ângulo de rotação é de grande valia pois através destes valores é possível estudar o movimento da bicicleta em andamento ao longo de um percurso. Desta forma, nesta secção serão analisados os dados obtidos do giroscópio segundo os eixos X e Y. Dada a disposição do giroscópio na bicicleta a informação que se pode obter através da análise de cada eixo está presente na tabela 4.6

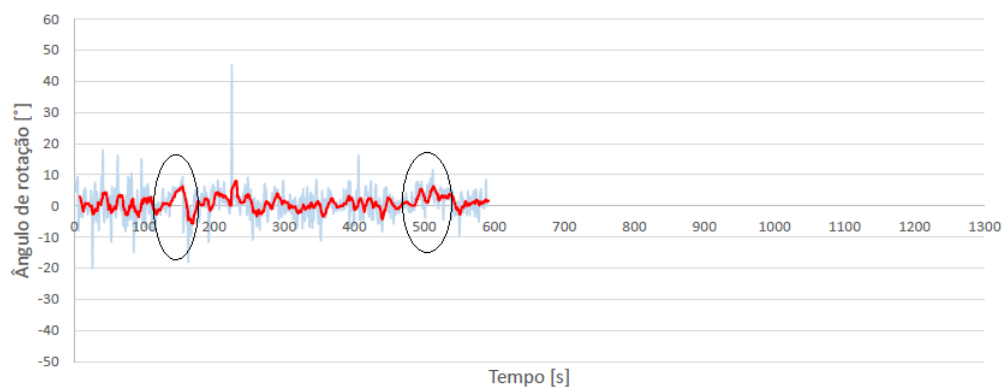
Tabela 4.6: Análise bi-axial do ângulo de rotação

Eixo	Direção	Movimento típico
X	esquerda/direita	balanceamento da bicicleta
Y	inclinações/declives	Subidas e descidas

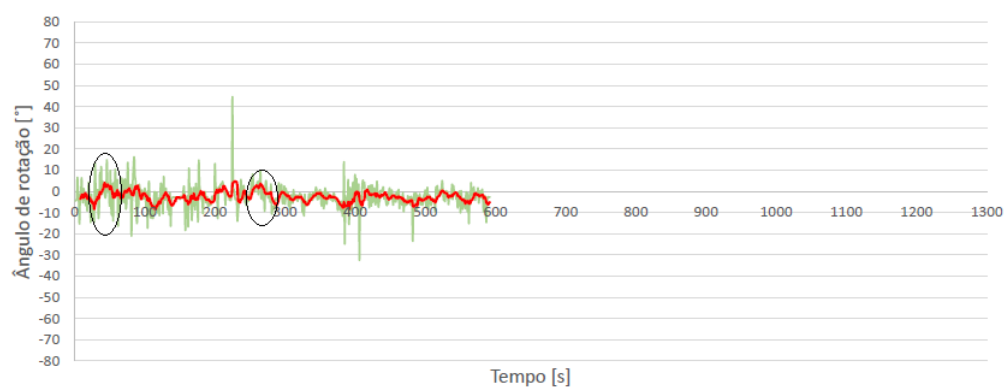
Relativamente aos gráficos que representa o percurso A, da figura 4.13 para o eixo X apresenta-se no primeiro ponto assinalado uma viragem da Avenida Doutor Lourenço Peixinho para a Rua do Engenheiro Oudinot, já o segundo círculo representa uma curva na ciclovia do campus da Universidade. Para o eixo Y apresenta-se no primeiro círculo o ponto correspondente à máxima altitude do percurso, na Avenida Doutor Lourenço Peixinho, o segundo ponto assinalado corresponde a uma inclinação positiva na Avenida 5 de Outubro.

Quanto aos gráficos da figura 4.14 correspondentes ao percurso B, verifica-se no período de 200 segundos uma paragem seguida de uma viragem da Avenida Doutor Lourenço Peixinho para a Rua Engenheiro Oudinot. A paragem seguida da manobra são detetadas tanto no ângulo de rotação segundo X assim como segundo Y.

Quanto ao percurso C verifica-se assinalado nos gráficos da figura 4.15 para o eixo X uma mudança de faixa ao fim da Avenida Doutor Lourenço Peixinho, uma vez que a ciclovia termina e é necessário continuar viagem na via comum com os veículos motorizados, e uma viragem para a Rua da Liberdade. Relativamente ao eixo Y, este tende a ser constante e apresenta poucas variações, verifica-se no entanto ao longo da Avenida Doutor Lourenço Peixinho uma pequena inclinação aos 200 segundos de viagem.

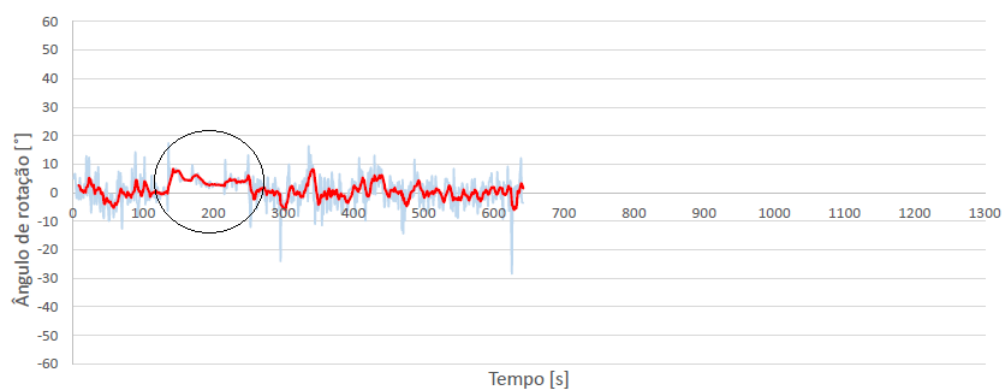


(a) Ângulo de rotação segundo X

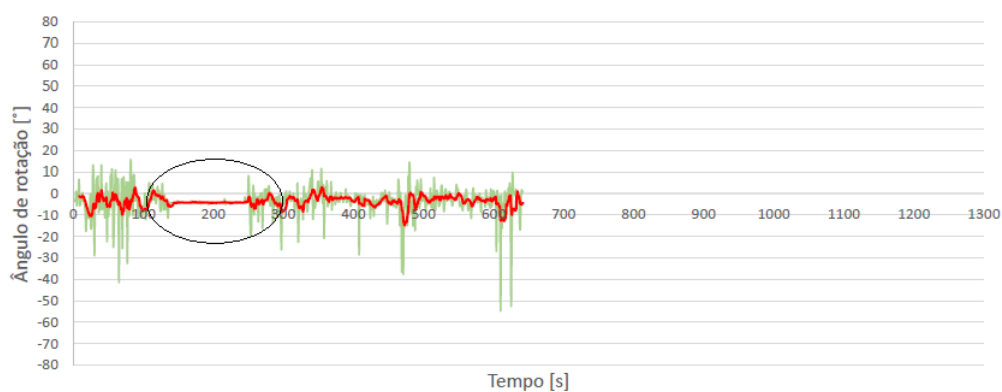


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura 4.13: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso A

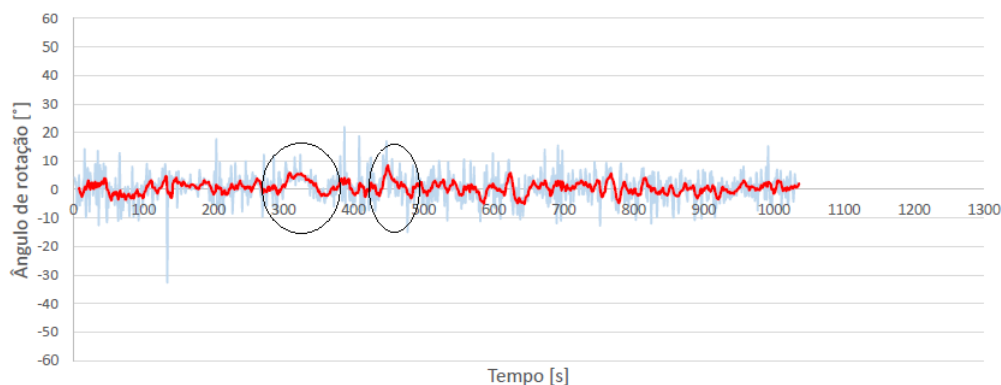


(a) Ângulo de rotação segundo X

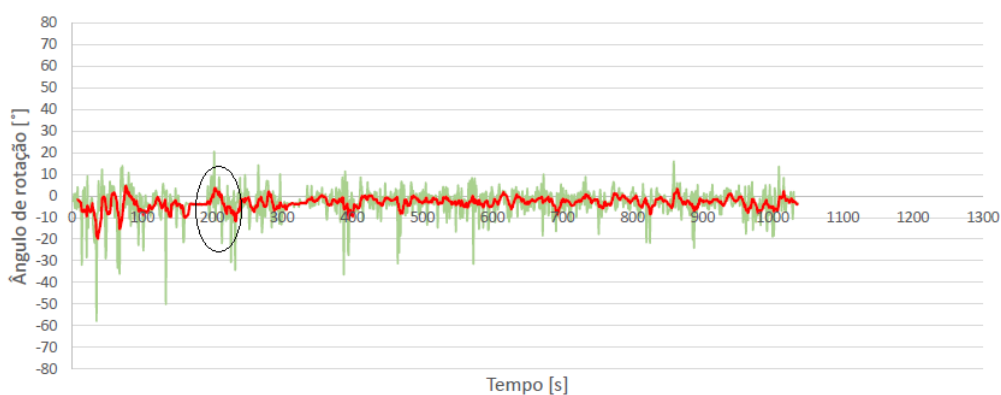


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura 4.14: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso B



(a) Ângulo de rotação segundo X



(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura 4.15: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso C

## 4.5 Conflitos detetados durante as monitorizações experimentais

Ao longo das monitorizações experimentais, foram detetados alguns conflitos que interferiram com a condução do ciclista. A utilização da câmara de filmar possibilitou a gravação das monitorizações para identificar mais facilmente alguns dos conflitos detetados. Seguem-se algumas figuras retiradas dos vídeos referentes a cada percurso.

Ao longo das viagens realizadas nos percursos A e B foram constantes os momentos em que o condutor se deparou com veículos ligeiros estacionados nas ciclofaixas, impedindo a passagem de ciclistas. Pode-se verificar na figura 4.16 um veículo estacionado na ciclofaixa da Avenida Santa Joana, e um ciclista que teve que realizar a manobra de ultrapassagem do veículo ligeiro para continuar viagem. Nas imagens das figuras 4.17 e 4.18 verificam-se situações idênticas à referida anteriormente. Um veículo pesado de passageiros que utiliza a ciclofaixa para a saída de passageiros na Avenida Santa Joana, e um veículo ligeiro estacionado na ciclofaixa da rotunda da Avenida Artur Ravara.

Na figura 4.19 é perceptível a presença de um peão na ciclovía na Avenida Doutor Lourenço Peixinho. No início da ciclovía apenas está representado um sinal vertical de via para trânsito de bicicletas, e dada a largura da ciclovía por vezes o ciclista tem

necessidade de travar devido aos peões que nela circulam.

Na figura 4.20 verifica-se a utilização da ciclovia da Rua da Pega para estacionamento de veículos ligeiros.

Também foram identificados fluxos de elevado tráfego, nomeadamente na rotunda da Rua de Viana do Castelo. Como se pode observar na figura 4.21 verifica-se a presença de três veículos pesados de passageiros, o que pode indicar uma excursão, por exemplo.



Figura 4.16: Veículo ligeiro estacionado indevidamente na ciclofaixa - Percursos A e B



Figura 4.17: Estacionamento de um veículo pesado de passageiros para saída de passageiros na ciclofaixa - Percursos A e B



Figura 4.18: Estacionamento de um veículo ligeiro na ciclofaixa da rotunda no final da Avenida Artur Ravara - Percursos A e B



Figura 4.19: Presença de peões na ciclovia - Percurso C





Figura 4.20: Estacionamento de veículos na ciclovia - Percurso C



Figura 4.21: Elevado tráfego na rotunda da Rua Viana do Castelo - Percurso C

## 4.6 Síntese de Resultados

### Perfil de velocidade

Relativamente aos perfis de velocidade analisados, como seria de esperar, tendo em conta que os trajetos são similares, o percurso A e B apresentam tempos de viagem muito semelhantes. No entanto, pode-se desde já concluir que o percurso B revela-se mais apropriado ao nível de número de paragens e tempo de viagem, sendo também neste

percurso que é detetado maior valor de velocidade média e máxima. Apesar da Avenida Doutor Lourenço Peixinho apresentar ciclovia ao longo de toda a avenida, esta apresenta pouca atratividade e conforto para o ciclista, uma vez que a presença dos 4 cruzamentos semaforizados obriga o ciclista a realizar diversas paragens, sendo portanto o percurso C que apresenta maior tempo de viagem e número de paragens.

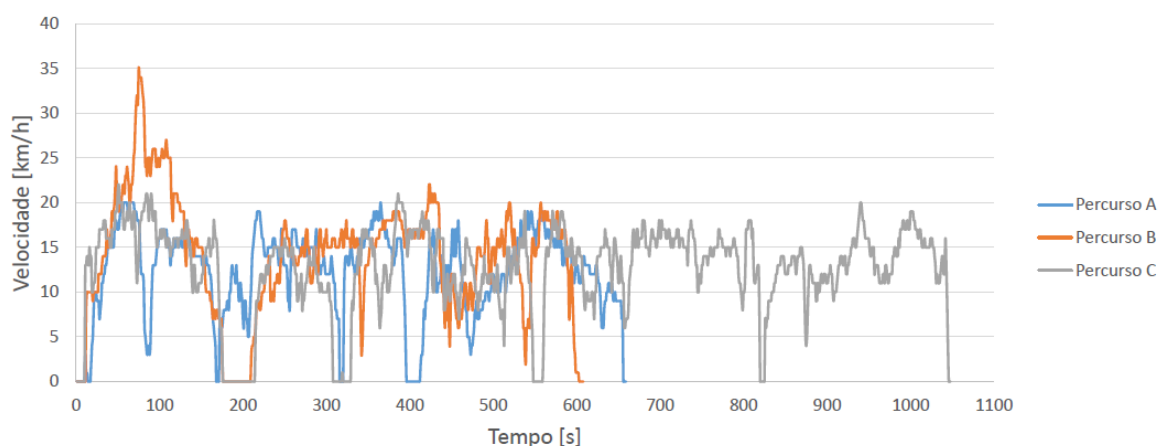


Figura 4.22: Curvas de velocidade correspondentes aos percursos A, B e C

### Perfil de altitude

No que se refere aos perfis de altitude analisados, apresenta-se de seguida na tabela 4.7 o resumo da análise dos resultados obtidos. De salientar que para esta análise foram utilizados os valores obtidos através da ferramenta *GPS Visualizer* uma vez que o cálculo da altitude foi realizado com as coordenadas obtidas com o sensor GPS utilizado. Analisando a tabela, pode-se concluir que mais uma vez o percurso C encontra-se em desvantagem apresentando a maior diferença entre altitudes máximas e mínimas. Os percursos A e B apresentam resultados muito semelhantes, o que já era esperado tendo em conta que apenas o último troço do percurso é que difere entre estes.

Tabela 4.7: Resumo da análise dos perfis de altitude

	Altitude máxima [m]	Altitude mínima [m]	Diferença de altitude [m]
Percurso A	21,2	7,8	13,4
Percurso B	21,0	7,5	13,5
Percurso C	21,0	-3,7	24,7

### Perfil de aceleração

Os dados recolhidos com o giroscópio e acelerómetro fornecem informação útil para a identificação de manobras longitudinais, laterais e verticais da bicicleta, que são afetados por fatores ambientais, como o volume de veículos pesados, a condição da superfície, grau, cruzamentos, lombas e curvas. Tendo em conta que os resultados obtidos com este dispositivo não se mostraram muito viáveis, uma melhoria neste equipamento eletrónico



contribuiria para melhores resultados obtidos para a realização de estudos mais profundos sobre esta temática. Analisando os valores presentes na tabela 4.8 e tendo em conta que apenas foram encontrados valores de referência para a aceleração e desaceleração segundo o eixo Y verifica-se que o percurso B apresenta valores mais elevados de desaceleração (relembrar que neste estudo os valores positivos de aceleração segundo Y correspondem a desacelerações e os valores negativos segundo o mesmo eixo correspondem a acelerações), enquanto que os valores registados de aceleração aproximam-se dos valores de referência encontrados para um pavimento liso. No que diz respeito aos valores de aceleração obtidos para o eixo X, verifica-se que o percurso C é o que apresenta um valor superior de desaceleração segundo este eixo. Assim como também se verifica que é no percurso C que o condutor atinge uma maior variância de aceleração segundo o eixo Z. No geral, o trajeto C é o que apresenta valores mais elevados de aceleração, o que pode significar que ao longo do percurso o condutor adquire uma condução mais agressiva aumentando assim a probabilidade de ocorrência de conflitos com os restantes utilizadores da via pública.

Tabela 4.8: Resumo da análise dos perfis de aceleração

		Valor máximo de aceleração [m/s <sup>2</sup> ]	Valor mínimo de aceleração [m/s <sup>2</sup> ]
Percurso A	segundo X	2,75	-3,14
	segundo Y	4,41	-3,82
	segundo Z	17,36	3,82
Percurso B	segundo X	3,92	-3,04
	segundo Y	5,68	-3,24
	segundo Z	14,51	2,45
Percurso C	segundo X	5,98	-3,33
	segundo Y	4,51	-3,73
	segundo Z	15,49	0,49



## Capítulo 5

# Conclusões

Esta Dissertação de Mestrado teve como intuito o desenvolvimento de uma aplicação *android* para *smartphone* para servir de interface entre o ciclista e os sensores utilizados para monitorizar três percursos diferentes na cidade de Aveiro. O principal objetivo com as monitorizações experimentais foi concluir qual o percurso mais viável para ser realizado de bicicleta. Para a avaliação dos percursos monitorizados contabilizaram-se perfis de velocidade, altitude, aceleração e ângulo de rotação.

Relativamente ao desenvolvimento da aplicação *android*, foram vários os desafios encontrados, visto se tratar de um programa e linguagem de programação completamente novos para a autora. Além de uma fase prévia de aprendizagem da linguagem de programação, foi essencial o apoio que a Qt oferece aos seus utilizadores através de foruns *on-line* a nível mundial, onde se encontram reunidos vários programadores de linguagem QML disponíveis para esclarecer algumas dúvidas de programação. Apesar de todo o esforço por parte da Qt em tentar esclarecer os seus utilizadores, por vezes surgiram dúvidas demasiado específicas relacionadas com o trabalho desenvolvido onde essa ajuda era insuficiente e exigia da autora um esforço elevado para resolver os problemas que surgiam. Apesar de todos os desafios, a experiência revelou-se gratificante, sendo que foi possível realizar o desejado.

Apesar do laboratório de sensores ter sido programado e fornecido pelo Professor Paulo Afonso, foi necessário a realização de um estudo para conhecer o princípio de funcionamento do sistema, e alguns princípios base sobre os quais os sensores foram programados.

Ao nível do trabalho de índole experimental, também foi necessário ultrapassar certos obstáculos inesperados. Em primeiro lugar, as medições experimentais foram efetuadas em ambientes reais; nestas condições existem diversos fatores que não estão ao alcance de serem previstos ou controlados, como as condições meteorológicas. Outro fator que condicionou as monitorizações foram os sensores utilizados: tendo em conta que se tratava de um protótipo a probabilidade de algum imprevisto acontecer era elevado, mesmo com a realização de testes preliminares, este fator não foi evitado por completo, mas resolvido com sucesso.

O pós-processamento de dados revelou-se um desafio, tendo em conta que cada variável estudada exigia um tratamento de dados diferente, assim como também foi necessário um tratamento de dados diferente para os dados provenientes do *garmin* e dos sensores. Esta dificuldade faz parte de um dos principais objetivos do plano IPB citado no capítulo 'Estado de Arte' da presente dissertação.

Com a análise dos resultados obtidos durante as monitorizações realizadas, foi possível concluir que apesar do percurso C apresentar uma maior extensão de pistas destinadas ao ciclista, apresenta maior tempo de viagem assim como maior número de paragens, maior elevação, maior variação nos valores de aceleração segundo os eixos X e Z e também uma maior variação segundo o eixo Y relativamente ao ângulo de rotação. Sendo que o percurso B revelou-se o mais indicado para a realização da viagem estação - Universidade em bicicleta.

Relativamente aos resultados obtidos para a aceleração segundo Y, eram esperados valores de aceleração superiores aos de referência e valores de desaceleração inferiores aos mesmos, no entanto o que se verificou foi valores de aceleração e desaceleração superiores aos de referência.

Criar e melhorar o ambiente ciclável, de forma a incentivar a utilização da bicicleta, é uma combinação entre vários fatores, onde não pode ser restrito apenas às infraestruturas destinadas ao ciclista ou às características do terreno. É também notório que para uma melhoria do ambiente ciclável é necessário mudar a repartição modal, aumentando o número de bicicletas e diminuir o tráfego de veículos motorizados.

### Trabalho futuro

Com a realização deste estudo foram várias as ideias e necessidades que surgiram que não foram realizadas na presente dissertação, nomeadamente:

- Estudo do ruído do sinal proveniente das leituras realizadas pelos sensores, com o desenvolvimento de filtros de passa-baixo para separar os sinais desejados dos indesejados e assim melhorar a leitura e interpretação dos resultados obtidos;
- Melhoria no giroscópio e acelerómetro contribuindo para melhores resultados obtidos para a realização de estudos mais profundos sobre esta temática;
- Realização de medições noutras condições (pavimento molhado, outro condutor, etc.);
- Ajuste de alguns sensores da plataforma laboratorial, por exemplo, inserindo um altímetro mais rigoroso que o GPS para medição da altitude;
- Desenvolvimento de sensores para medir a potência do ciclista ao pedalar;
- Relativamente à aplicação *android* desenvolvida, seria vantajoso acrescentar a funcionalidade de o ficheiro criado com os dados ser automaticamente enviado para o e-mail do condutor, no fim de cada percurso, ao invés de ficar guardado no telemóvel antes de transferir para o computador;
- Contabilizar e inserir na *app* a informação relativa às calorias gastas e à poupança monetária e emissões de  $CO_2$  evitadas face à realização das mesmas viagens num veículo ligeiro;
- Realização de análise estatística dos resultados obtidos;
- Monitorização de percursos alternativos.

# Referências Bibliográficas

- [1] European Commission. (2014) *EU Transport in Figures*. Statistical Pocketbook. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/>> Consultado em fevereiro de 2015.
- [2] VIMECA, Lisboa Transportes. Comissão Europeia. Livro Branco dos Transportes. Disponível em <<http://www.vimeca.pt/>>. Consultado em fevereiro de 2015.
- [3] ASF, Autoridade de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões. Disponível em <<http://www.asf.com.pt/NR/exeres/7D383D46-9431-416E-98C7-395B0A9E7080.htm>>. Consultado em fevereiro de 2015.
- [4] Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P. (IMT). (2012) *Ciclando - Plano de promoção da bicicleta e outros modos suaves*. Pegada Suave. Consultado em fevereiro de 2015.
- [5] European Cyclists' Federation. Resources. *Cycling facts and figures*. Disponível em <<http://www.ecf.com/press-corner/cycling-facts-and-figures/>>. Consultado em fevereiro de 2015.
- [6] TERM 2013: Transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe. *A closer look at urban transport*. (2013) European Environment Agency report. Consultado em junho de 2015
- [7] WAY2GO, Consultoria e investigação em mobilidade e transportes. *Fatores determinantes para a utilização da bicicleta enquanto meio de transporte quotidiano em Portugal*. Disponível em <<http://www.w2g.pt/2015/03/determinantes-utilizacao-bicicleta-320/>>. Consultado em fevereiro de 2015.
- [8] European Bicycle Market 2014 edition. *Industry & Market Profile (2013 statistics)*. COLIBI. COLIPED, Association of the European Two-Wheeler Parts' & Accessories' Industry. Consultado em junho de 2015.
- [9] European Bicycle Market 2011 edition. *Industry & Market Profile (2010 statistics)*. COLIBI. COLIPED, Association of the European Two-Wheeler Parts' & Accessories' Industry. Consultado em junho de 2015.
- [10] European Bicycle Market 2012 edition. *Industry & Market Profile (2011 statistics)*. COLIBI. COLIPED, Association of the European Two-Wheeler Parts' & Accessories' Industry. Consultado em junho de 2015.

- [11] European Bicycle Market 2013 edition. *Industry & Market Profile (2012 statistics)*. COLIBI. COLIPED, Association of the European Two-Wheeler Parts' & Accessories' Industry. Consultado em junho de 2015.
- [12] Brilhante, P. (2012) *Análise de fatores que influem no uso da bicicleta para fins de planejamento ciclovitário*. Tese de Doutorado em Ciências na área de Planejamento e Operação de Sistemas de Transporte. Escola de Engenharia de São Carlos. Consultado em fevereiro de 2015.
- [13] Silva, R. (2012). *Mobilidade Urbana: A bicicleta como meio de transporte urbano*. Dissertação de Mestrado em Design Industrial. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Consultado em fevereiro de 2015.
- [14] Moreira, A. (2011). *Integração do modo ciclável na rede viária urbana*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Aveiro. Consultado em fevereiro de 2015.
- [15] Bastos, A., Silva, J. (2006). *A Bicicleta como Modo de Transporte Sustentável*. Relatório. Universidade de Coimbra e Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria. Consultado em fevereiro de 2015.
- [16] Morato, M. (2014). *Transporte Ciclovitário : Conceitos e Tipos*. Pós-Graduação em Arquitetura e urbanismos. Universidade São Judas Tadeu. Disponível em <<http://www.transporteciclovitario.com/>>. Consultado em fevereiro de 2015.
- [17] Schlumberger Excellence in Education Development. *Mantendo a Segurança no Trânsito: Faixas e Vias para Ciclistas*. Disponível em <<http://www.planetseed.com/pt-br/relatedarticle/faixas-e-vias-para-ciclistas>>. Consultado em junho de 2015.
- [18] Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Área educativa. *Clima de Portugal continental*. Disponível em <<https://www.ipma.pt/>>. Consultado em fevereiro de 2015.
- [19] Direção Geral do Ambiente da Comissão Europeia (2000). *Cidades para Bicicletas, Cidades de Futuro*. Disponível em <<http://ec.europa.eu/>>. Consultado em fevereiro de 2015.
- [20] Muhammad H. Al-Haboubi (1999) *Modelling energy expenditure during cycling, Ergonomics*, 42(3), p416-427. Consultado em fevereiro de 2015.
- [21] Adams, W. C. (1967). *Influence of age, sex, and body weight on the energy expenditure of bicycle riding*. Journal of Applied Physiology. 22, p539 - 545. Consultado em fevereiro de 2015.
- [22] Swain, D. P., Coast, J. R., Clifford, P. S., Milliken, M. C. and Stray-Gundersen, J. (1987) *Influence of body size on oxygen consumption during bicycling*. Journal of Applied Physiology, 62, p668 - 672. Consultado em fevereiro de 2015.
- [23] Parkin, J. (2008). *The importance of human effort in planning networks*. NECTAR workshop In: Integrated Transport. Consultado em fevereiro de 2015.

- [24] CTC - working for cycling. *Safety in numbers - Halving the risk of cycling*. Disponível em <<http://archive.ctc.org.uk/>>. Consultado em fevereiro de 2015.
- [25] Bassett, D., Pucher, J., Buehler, R., Thompson, D., Crouter, S. (2008) *Walking, cycling, and obesity rates in Europe, North America, and Australia*. Journal of Physical Activity and Health, 5, p795-814. Consultado em fevereiro de 2015.
- [26] Mohanty, S., Lee, A., Carvalho, T., Dias, L., Lovegrove, G. (2014) *A Global Review of Current Instrumented Probe Bicycle (IPB) Technology and Research*. International Cycling Safety Conference, p18-19. Consultado em fevereiro de 2015.
- [27] Yamashita, K., Matsuda, A., Ishikura, K., Takagia, H., Otsukab, S. (2013). *Visualization of pedaling technique using cleat-size biaxial load cells*. 6<sup>th</sup> Asia-Pacific Congress on Sports Technology (APCST). Procedia Engineering 60, p415-421. Consultado em março de 2015.
- [28] Drouet, J., Champoux, Y. (2012) *Development of a three-load component instrumented stem for road cycling*. 9<sup>th</sup> Conference of the International Sports Engineering Association (ISEA). Procedia Engineering 34, p502-507. Consultado em março de 2015.
- [29] Drouet, J., Champoux, Y. (2010) *A novel dinamometric hubset design to measure wheel loads in road cycling*. 8<sup>th</sup> Conference of the International Sports Engineering Association (ISEA). Procedia Engineering 2, p2925-2930. Consultado em março de 2015.
- [30] Oertel, B., Neuburger, D. (2010) *Construction of a test bench for bicycle rim and disc brakes*. 8<sup>th</sup> Conference of the International Sports Engineering Association (ISEA). Procedia Engineering 2, p2943-2948. Consultado em março de 2015.
- [31] Lie, D., Sung, C. (2010) *Synchronous brake analysis for a bicycle*. Mechanism and Machine Theory. Department of Power Mechanical Engineering, National Tsing Hua University. Mechanism and Machine Theory 45, p543-554. Consultado em março de 2015.
- [32] Vanwalleghem, J., Mortier, F. (2012) *Design of an instrumented bicycle for the evaluation of dynamics and its relation with the cyclist's comfort*. 9<sup>th</sup> Conference of the International Sports Engineering Association (ISEA). Procedia Engineering 34, p485-490. Consultado em março de 2015.
- [33] Vanwalleghem, J., Baere, I., Loccufier, M. and Paepegem, W. (2013) *Sensor design for outdoor racing bicycle field testing for human vibration comfort evaluation*. Measurement Science and Technology, 24(9). Consultado em março de 2015.
- [34] Mendes, M. (2013) *Avaliação experimental do desempenho de bicicletas e motociclos convencionais e elétricos em contexto urbano*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa. Consultado em fevereiro de 2015.
- [35] Joo, S., Oh, C. (2013) *A novel method to monitor bicycling environments*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 54, p1-13. Consultado em março de 2015.

- [36] Dozza, M., Fernandez, A. (2014) *Understanding bicycle dynamics and cyclist behavior from naturalistic field data*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 15 (1) p376-384. Consultado em março de 2015.
- [37] Yamanaka, H., Pan, Z., Sanada, J. (2013) *Evaluation models for cyclists perception using probe bicycle system*. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 9. Consultado em março de 2015.
- [38] Walker, I. (2007) *Drivers overtaking bicyclists: Objective data on the effects of riding position, helmet use, vehicle type and apparent gender*. Accident Analysis and Prevention, 39, p417-425. Consultado em março de 2015.
- [39] Johnson, M., Charlton, J., Oxley, J., Newstead, S. (2010) *Naturalistic cycling study: Identifying risk factors for onroad commuter cyclists*. Association for Advancement of Automotive Medicine. Annual Science Conference 54, p275-283. Consultado em março de 2015.
- [40] Marks, P. (2012) *Switch to automatic*. NewScientist. Technology, p22. Consultado em março de 2015.
- [41] IDC. Analyze the Future. Smartphone OS Market Share, Q1 2015. Disponível em <<http://www.idc.com/prodserv/smartphone-os-market-share.jsp>>. Consultado em maio de 2015.
- [42] Qt, The Qt Company. About us. Disponível em <<https://www.qt.io/about-us/>>. Consultado em abril de 2015.
- [43] dreamstime. Vintage colorful bicycle background. Disponível em <<http://www.dreamstime.com/royalty-free-stock-photography-vintage-colorful-bicycle-background-hand-drawing-sketch-image35730567>> Consultado em abril de 2015.
- [44] bestAveiro. Partners. Disponível em <<http://bestaveiro.web.ua.pt/EOE2013/partners.html>>. Consultado em abril de 2015.
- [45] cliparts.co. Race Flag Clip Art. Disponível em <<http://cliparts.co/race-flag-clip-art>>. Consultado em abril de 2015.
- [46] pixabay. Disponível em <<http://pixabay.com/pt/bicicleta-roda-moto-ciclo-32293/>>. Consultado em abril de 2015.
- [47] Samsung, Galaxy Fresh DUOS. Disponível em <<http://www.samsung.com/>>. Consultado em março de 2015.
- [48] G.top, GlobalTop Technology Inc. FGPMOPA6H. GPS Standalone Module. Data Sheet. Revision: V0B. Disponível em <<http://www.gtop-tech.com/>>. Consultado em abril de 2015.
- [49] e-Gizmo Mechatronix Central. EGBT-046S/EGBT-045MS Bluetooth Module. Data Sheet. Disponível em <<http://www.e-gizmo.com/>>. Consultado em abril de 2015.



- [50] InvenSense. MPU-6000/MPU-6050 Register Map and Descriptions. Revision: 4.2 Disponível em <<http://www.invensense.com/>>. Consultado em abril de 2015.
- [51] Microchip. PIC18(L)F2X/4XK22. Data Sheet. Disponível em <<http://www.microchip.com/>>. Consultado em abril de 2015.
- [52] Nanjing QinHeng Electronics Co.,Ltd. D-SUN USB To TTL Disponível em <<http://www.winchiphead.com/>>. Consultado em abril de 2015.
- [53] CICLONATUR. Garmin Edge 500 bundle. Disponível em <<http://www.ciclonatur.pt/gps>>. Consultado em abril de 2015.
- [54] Órbita. Órbita Bicicletas Portuguesas. Disponível em <<http://www.orbitabikes.com/pt/>>. Consultado em maio de 2015.
- [55] Google, Maps. Disponível em <<https://www.google.pt/maps>>. Consultado em maio de 2015.
- [56] Instituto português do mar e da atmosfera. Previsão Meteorológica em Aveiro. Disponível em <<https://www.ipma.pt/pt/otempo/prev.localidade/>>. Consultado em maio de 2015.
- [57] Garmin *What is a GPS*. Disponível em <<http://www8.garmin.com/aboutGPS/>>. Consultado em junho de 2015.
- [58] GPS Systems Tracking resources from the field. *How accurate is a GPS-based speedometer?*. Disponível em <<http://gpssystems.net/accurate-gpsbased-speedometer/>>. Consultado em junho de 2015.
- [59] Cross Country Magazine - International Free Flying Magazine. *GPS versus barometric altitude: the definitive answer*. (2011) Disponível em <<http://www.xcmag.com/2011/07/gps-versus-barometric-altitude-the-definitive-answer/>>. Consultado em junho de 2015.
- [60] *GPS Visualizer: Do-It-Yourself Mapping*. Disponível em <<http://www.gpsvisualizer.com/>>. Consultado em junho de 2015.
- [61] R.F. Beck. *Mountain Bicycle Acceleration and Braking Factors*. Proceedings of the Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference XIV. June 27-30, (2004). Ottawa. Disponível em <<http://www.beckforensics.com/CMRSC14BeckBicycle.pdf>>. Consultado em maio de 2015.
- [62] Fazeen M., Gozick B., Dantu R., *Safe Driving Using Mobile Phone*. IEEE Transaction on intelligent transportation systems. Disponível em <<http://humnet.scripts.mit.edu/>>. Consultado em maio de 2015.
- [63] Ling-Mei, W. Jia-Shing, S., Wei-Cian, J., and Ying-Tung, H. *Pedometer Development Utilizing an Accelerometer Sensor*. World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Computer, Control, Quantum and Information Engineering 7, (2013) Disponível em <<http://waset.org/publications/16256/pedometer-development-utilizing-an-accelerometer-sensor>>. Consultado em maio de 2015.

- [64] Derick A. Johnson and Mohan M. Trivedi. *Driving Style Recognition Using a Smartphone as a Sensor Platform*. 14<sup>th</sup> International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems Washington, DC, USA. 2011 Disponível em <<http://cvrr.ucsd.edu/publications/2011>>. Consultado em maio de 2015.
- [65] Kaufmann, C., Tuetschek, C., *Connecting black box data and driving behaviour observation for better understanding of driving behaviour*. Tools and methodologies for safety and usability. p101-110. Disponível em <<http://www.conference.noehumanist.org/articles/Proceedings-HUMANIST-S2.5.pdf>>. Consultado em maio de 2015.
- [66] Figueiredo, L., Gafaniz, A., Lopes, G., Pereira, R. *Aplicações de Acelerómetros*. IAS - Instrumentação e Aquisição de Sinais. Monografia. 19 Dezembro (2007). Consultado em junho de 2015.

# Anexos

## A. Resultados obtidos na totalidade das monitorizações

### Perfil de velocidade

#### Percurso A



Figura A.1: Perfil de velocidade - Percurso A (Teste 1)

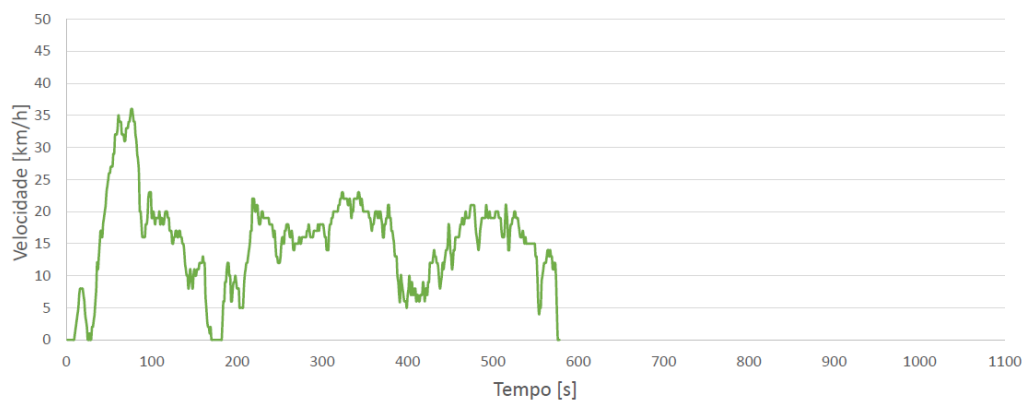


Figura A.2: Perfil de velocidade - Percurso A (Teste 2)

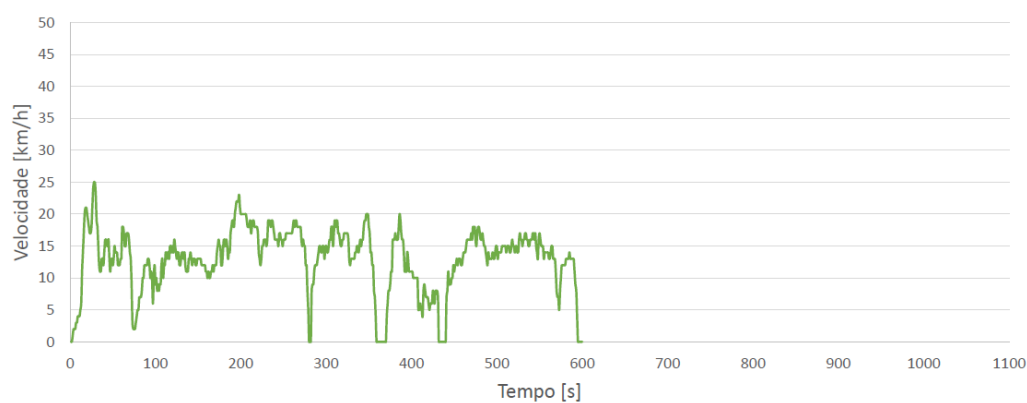


Figura A.3: Perfil de velocidade - Percurso A (Teste 3)

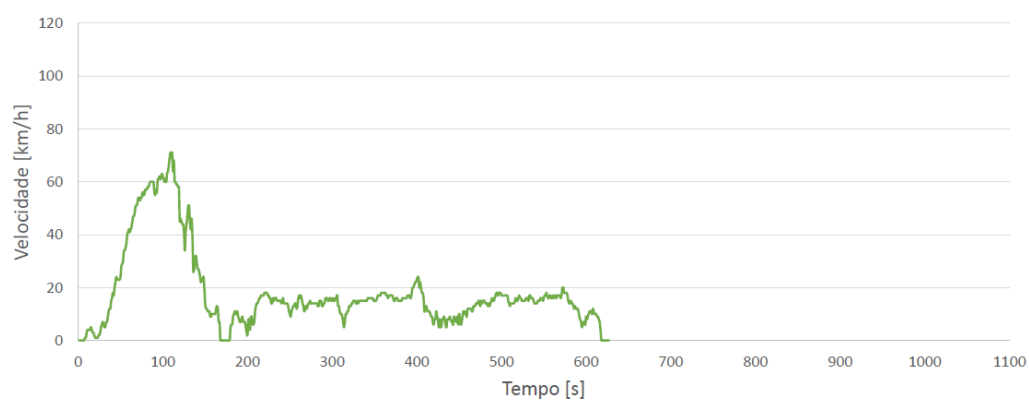


Figura A.4: Perfil de velocidade - Percurso A (Teste 4)

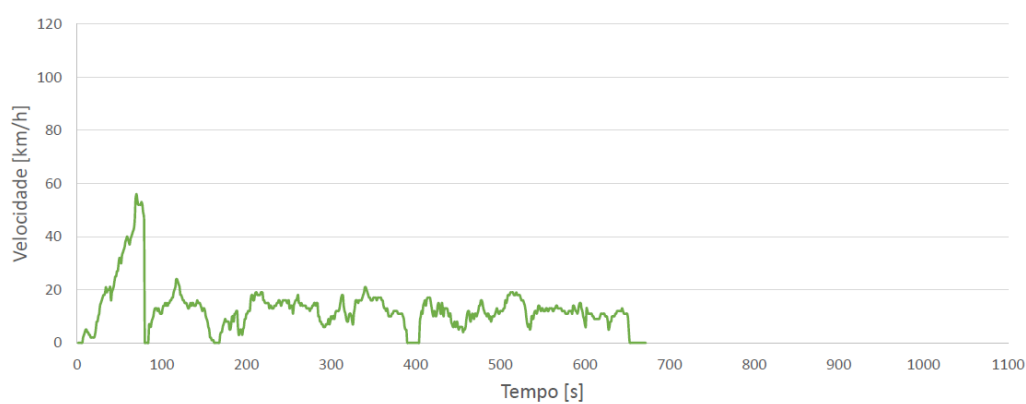


Figura A.5: Perfil de velocidade - Percurso A (Teste 6)

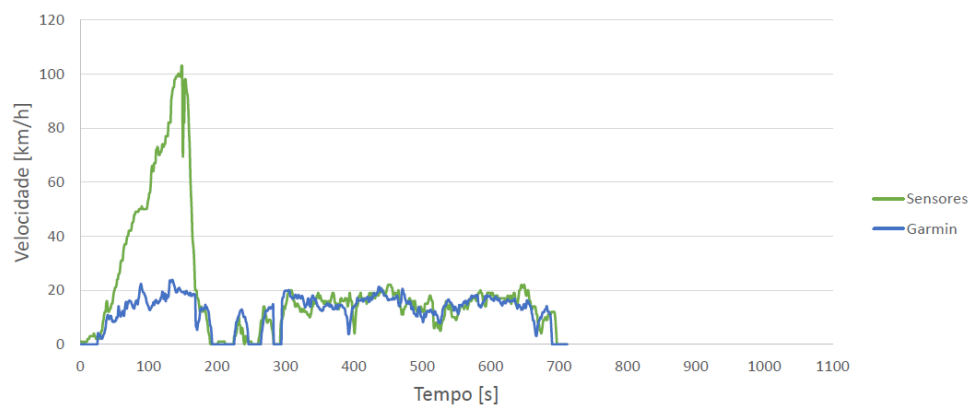


Figura A.6: Perfil de velocidade - Percurso A vs *Garmin Edge* (Teste 1)

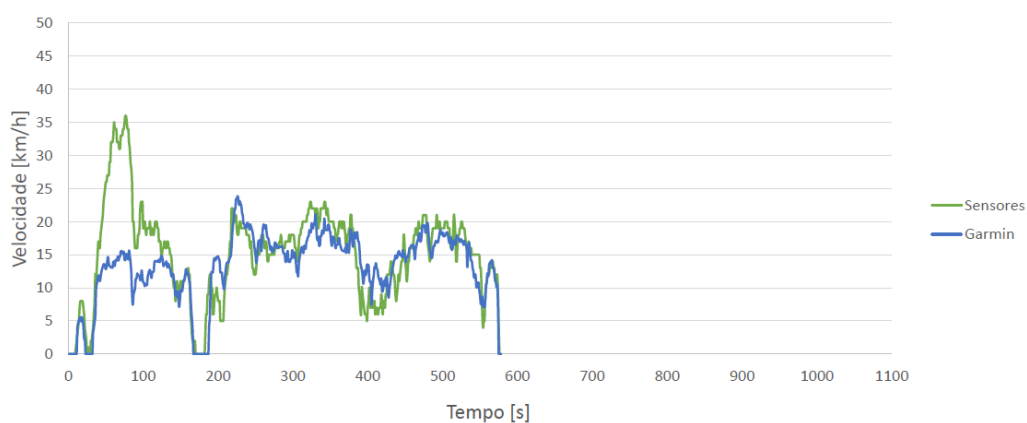


Figura A.7: Perfil de velocidade - Percurso A vs *Garmin Edge* (Teste 2)

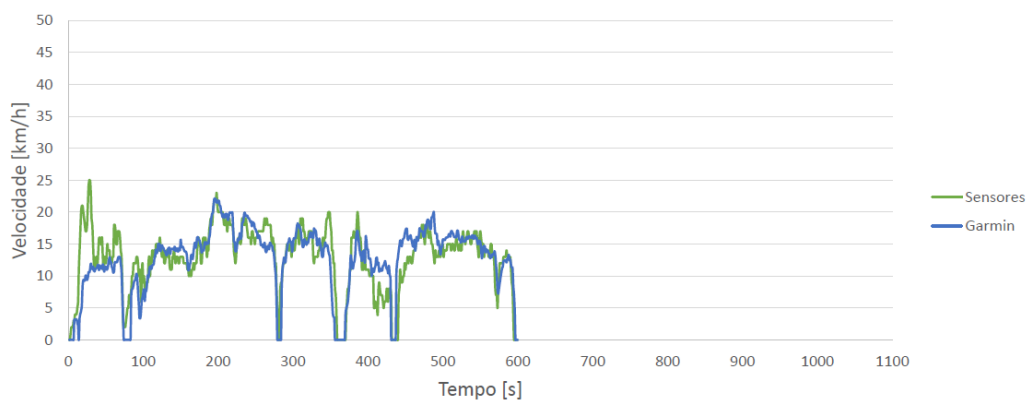


Figura A.8: Perfil de velocidade - Percurso A vs *Garmin Edge* (Teste 3)

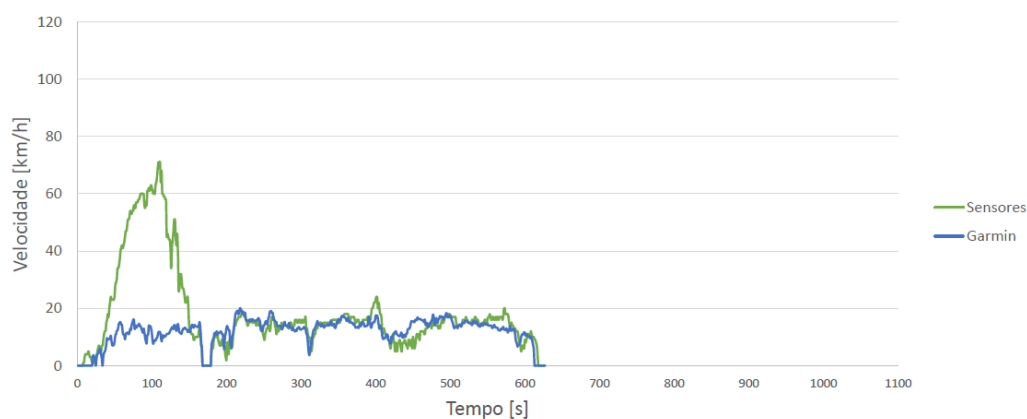


Figura A.9: Perfil de velocidade - Percurso A vs *Garmin Edge* (Teste 4)

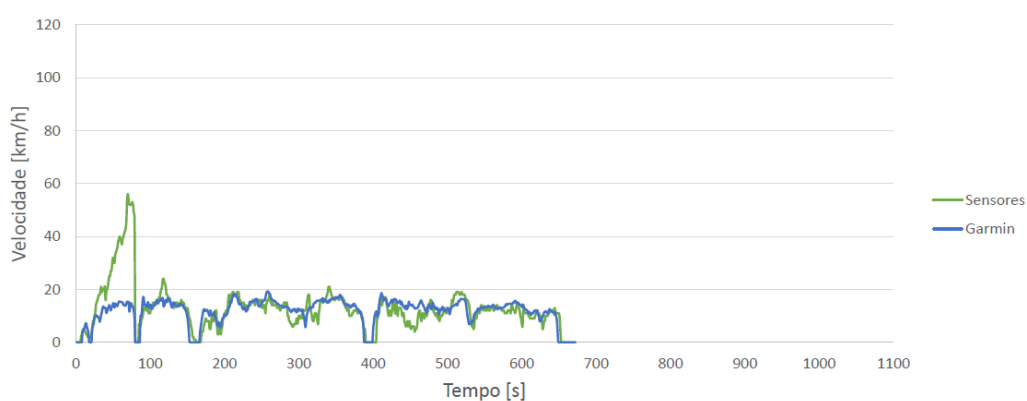


Figura A.10: Perfil de velocidade - Percurso A vs *Garmin Edge* (Teste 6)

## Percurso B



Figura A.11: Perfil de velocidade - Percurso B (Teste 1)

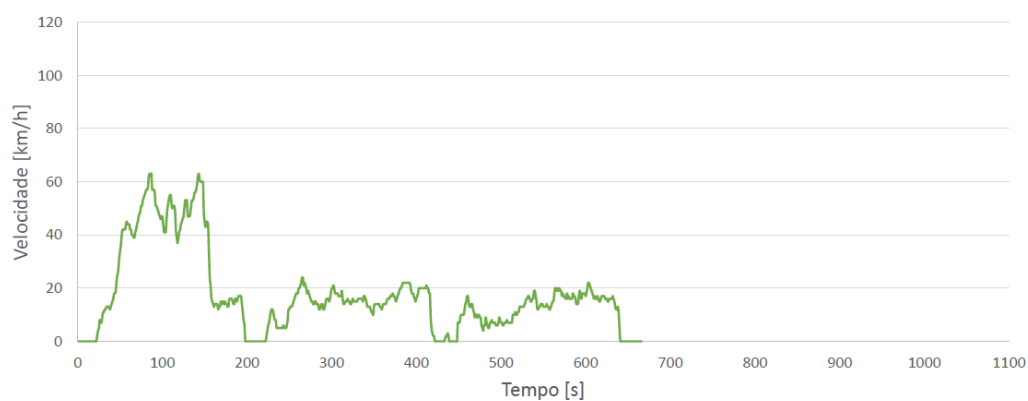


Figura A.12: Perfil de velocidade - Percurso B (Teste 2)



Figura A.13: Perfil de velocidade - Percurso B (Teste 3)

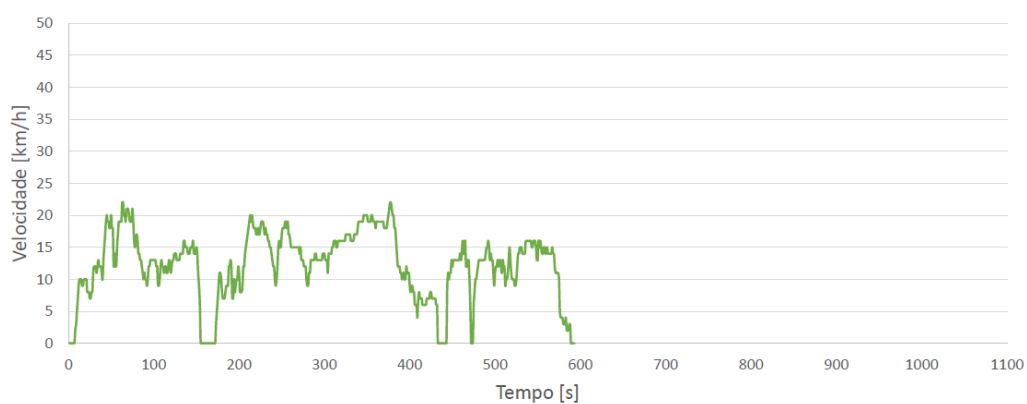


Figura A.14: Perfil de velocidade - Percurso B (Teste 4)

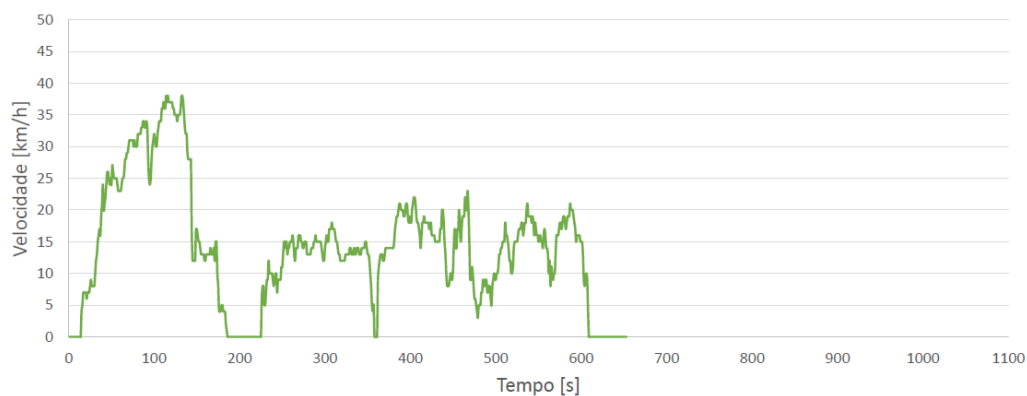
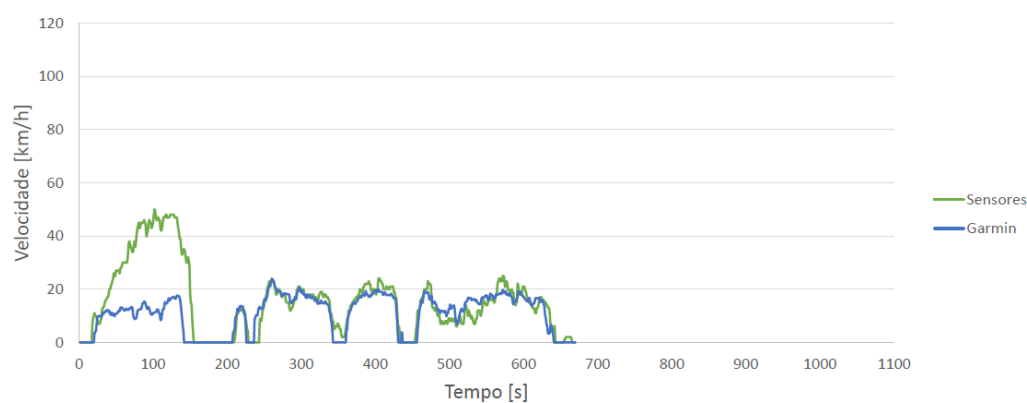
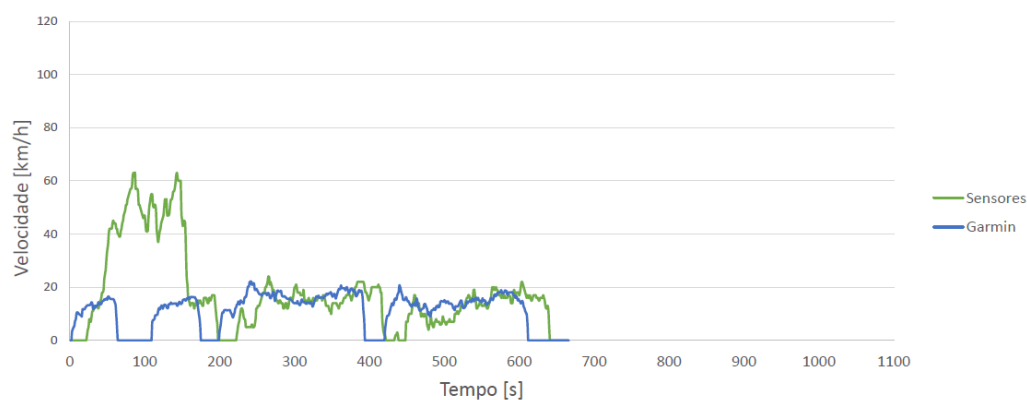


Figura A.15: Perfil de velocidade - Percurso B (Teste 6)

Figura A.16: Perfil de velocidade - Percurso B vs *Garmin Edge* (Teste 1)Figura A.17: Perfil de velocidade - Percurso B vs *Garmin Edge* (Teste 2)



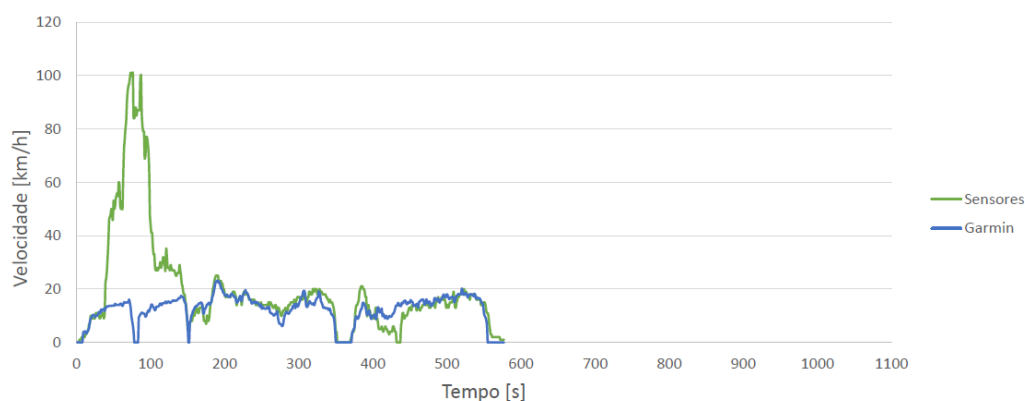


Figura A.18: Perfil de velocidade - Percurso B vs *Garmin Edge* (Teste 3)

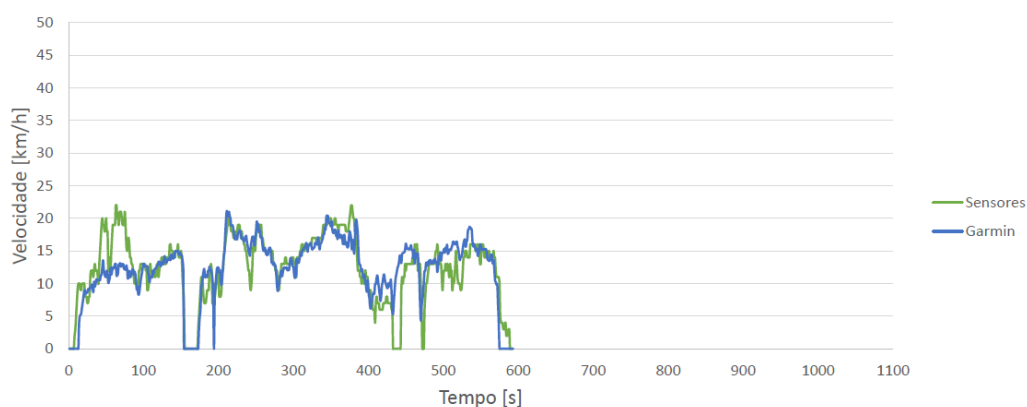


Figura A.19: Perfil de velocidade - Percurso B vs *Garmin Edge* (Teste 4)

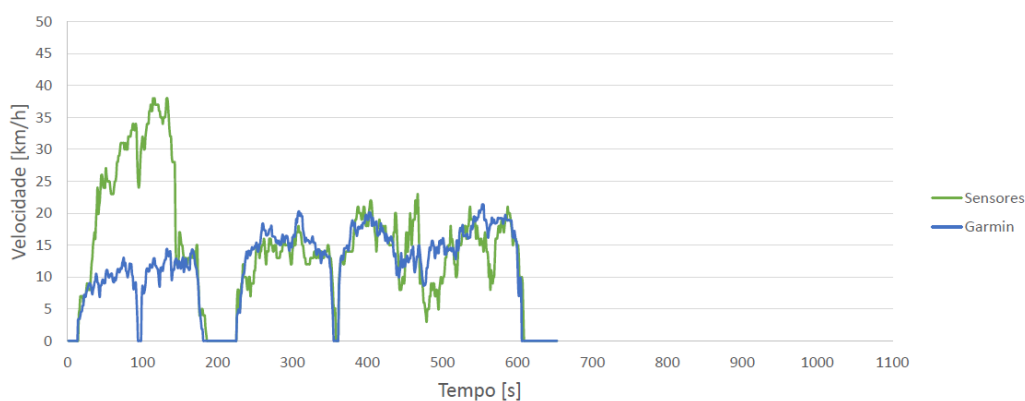


Figura A.20: Perfil de velocidade - Percurso B vs *Garmin Edge* (Teste 6)

## Percurso C

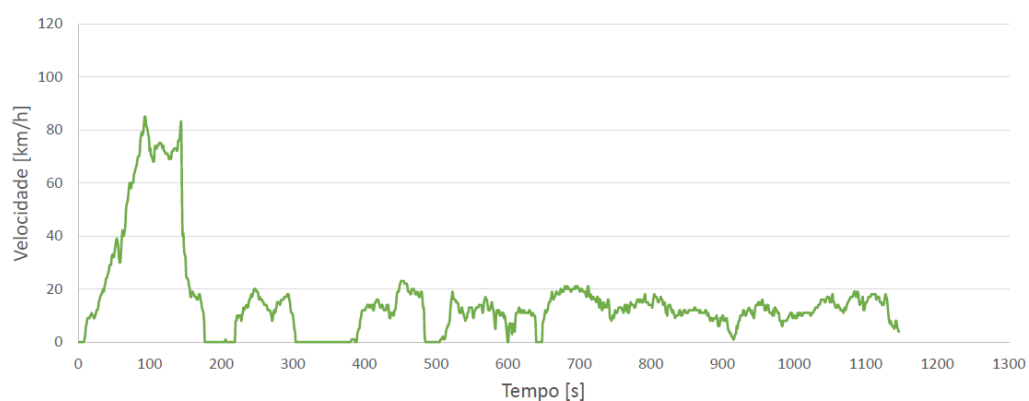


Figura A.21: Perfil de velocidade - Percurso C (Teste 1)

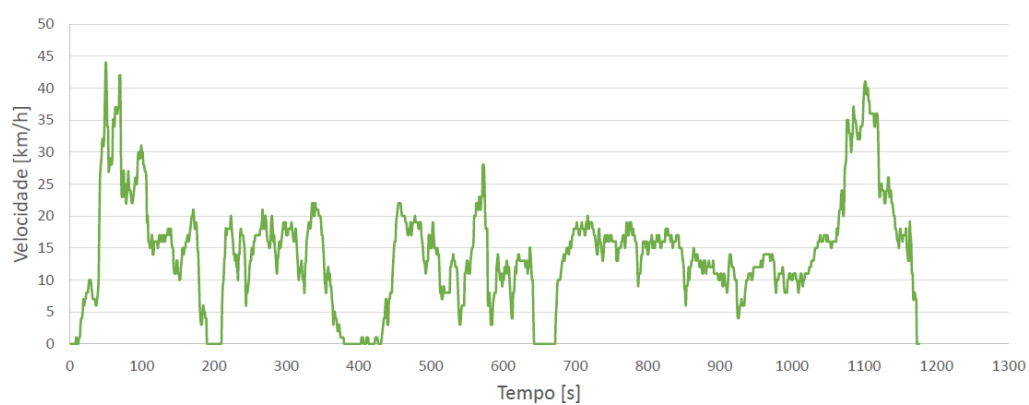


Figura A.22: Perfil de velocidade - Percurso C (Teste 2)

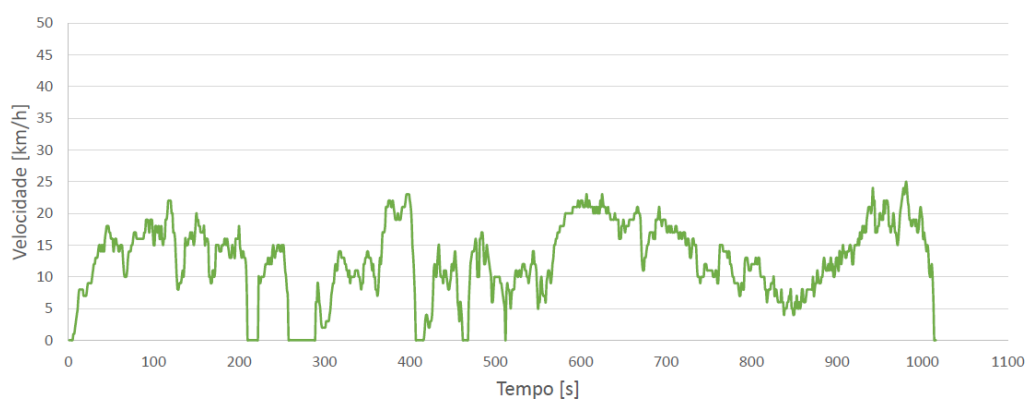


Figura A.23: Perfil de velocidade - Percurso C (Teste 3)

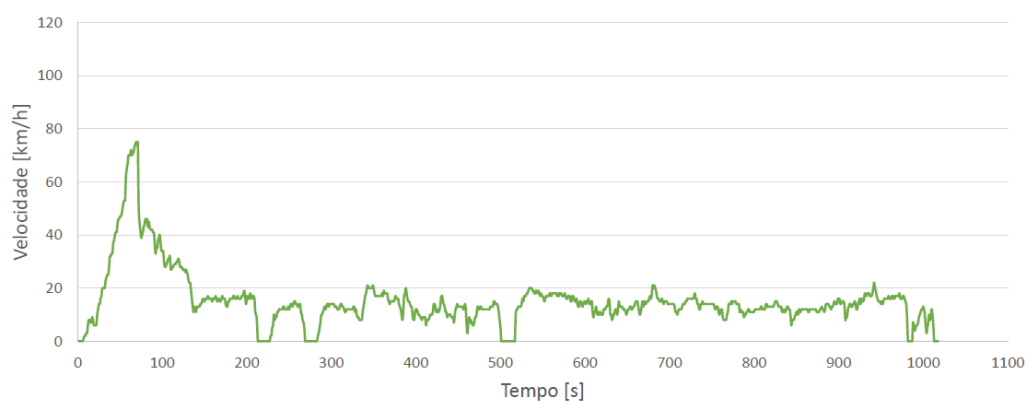
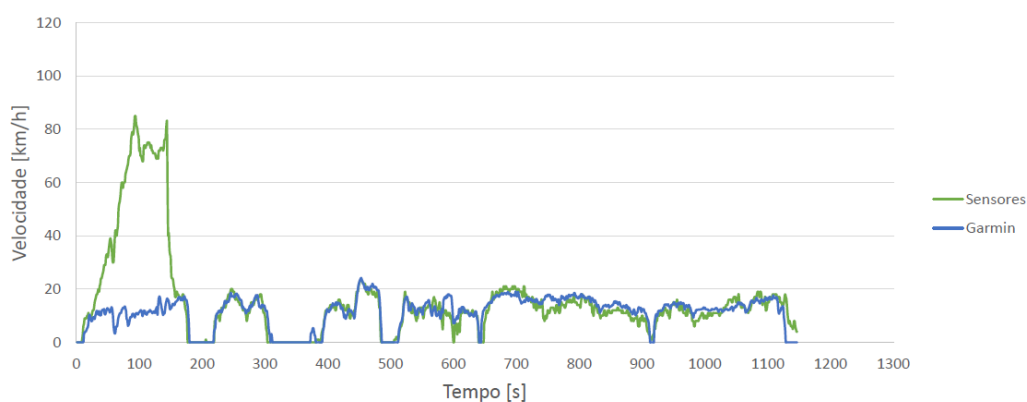


Figura A.24: Perfil de velocidade - Percurso C (Teste 4)



Figura A.25: Perfil de velocidade - Percurso C (Teste 6)

Figura A.26: Perfil de velocidade - Percurso C vs *Garmin Edge* (Teste 1)

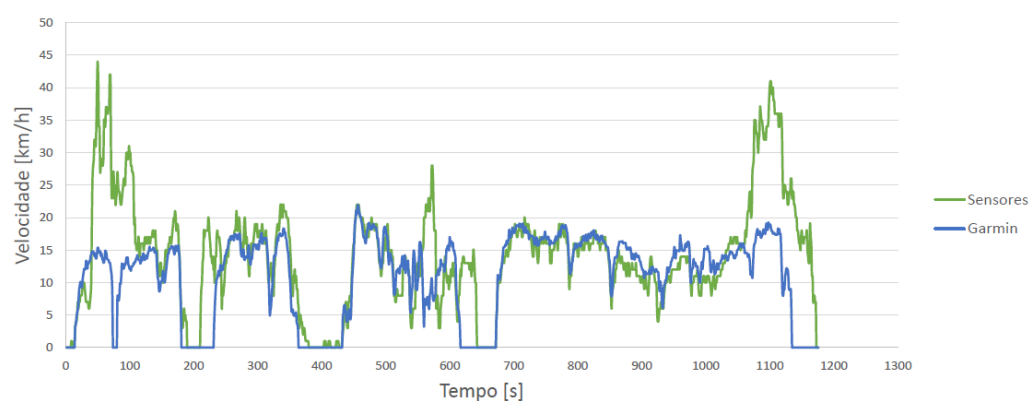


Figura A.27: Perfil de velocidade - Percurso C vs *Garmin Edge* (Teste 2)

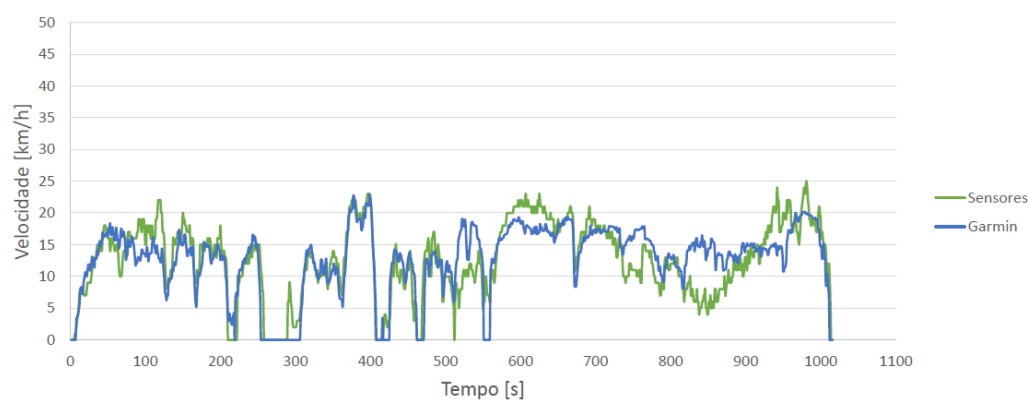


Figura A.28: Perfil de velocidade - Percurso C vs *Garmin Edge* (Teste 3)

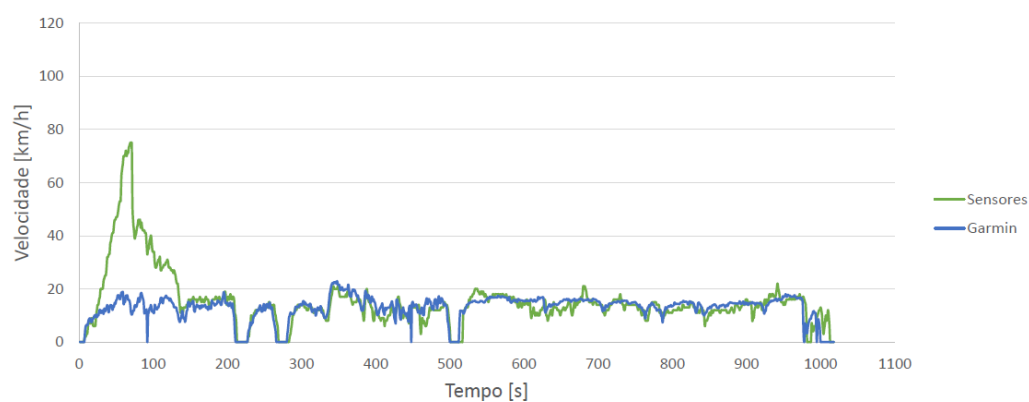


Figura A.29: Perfil de velocidade - Percurso C vs *Garmin Edge* (Teste 4)

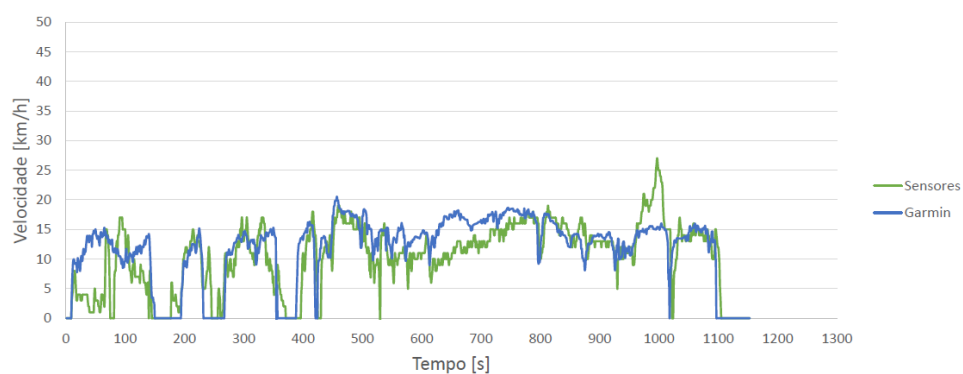


Figura A.30: Perfil de velocidade - Percurso C vs *Garmin Edge* (Teste 6)

## Perfil de Altitude

### Percurso A

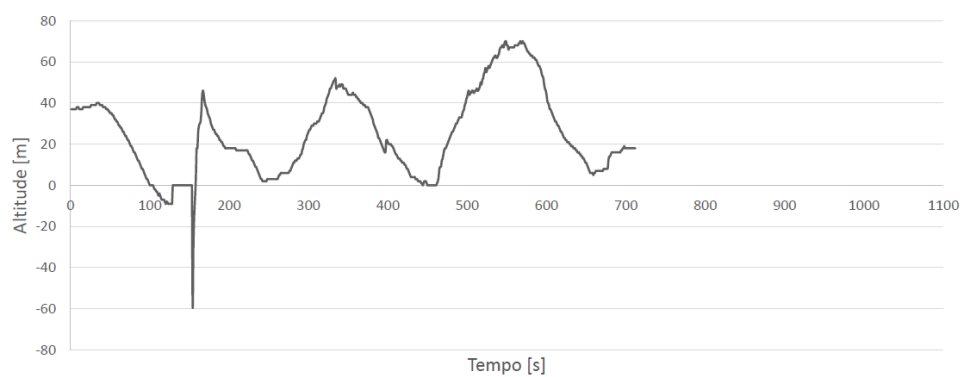


Figura A.31: Perfil de altitude - Percurso A (Teste 1)

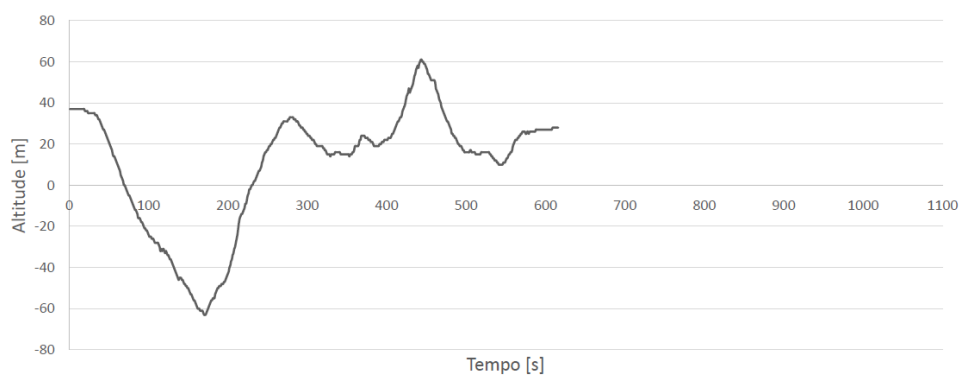


Figura A.32: Perfil de altitude - Percurso A (Teste 2)

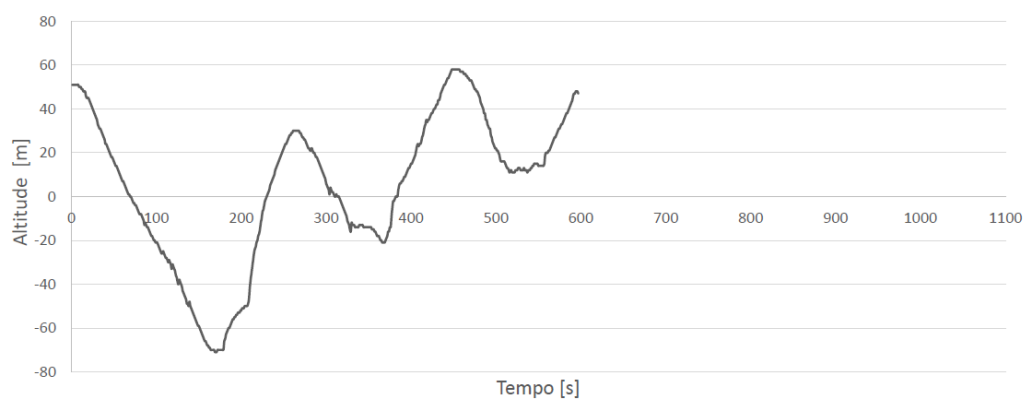


Figura A.33: Perfil de altitude - Percurso A (Teste 3)

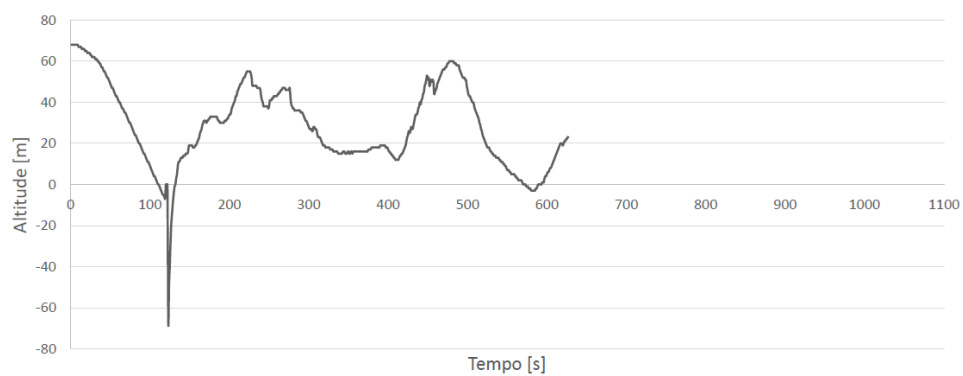


Figura A.34: Perfil de altitude - Percurso A (Teste 4)

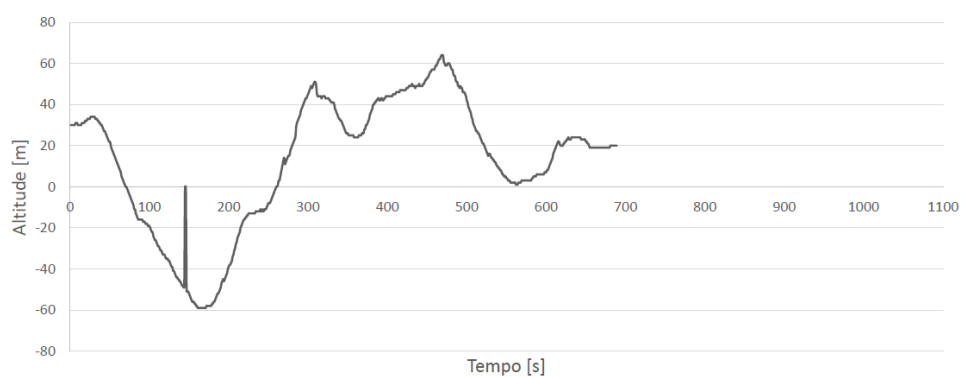


Figura A.35: Perfil de altitude - Percurso A (Teste 6)

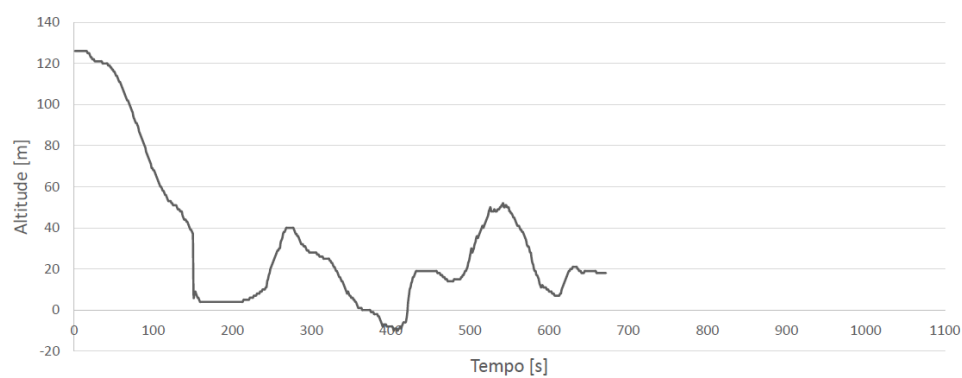
**Percurso B**

Figura A.36: Perfil de altitude - Percurso B (Teste 1)

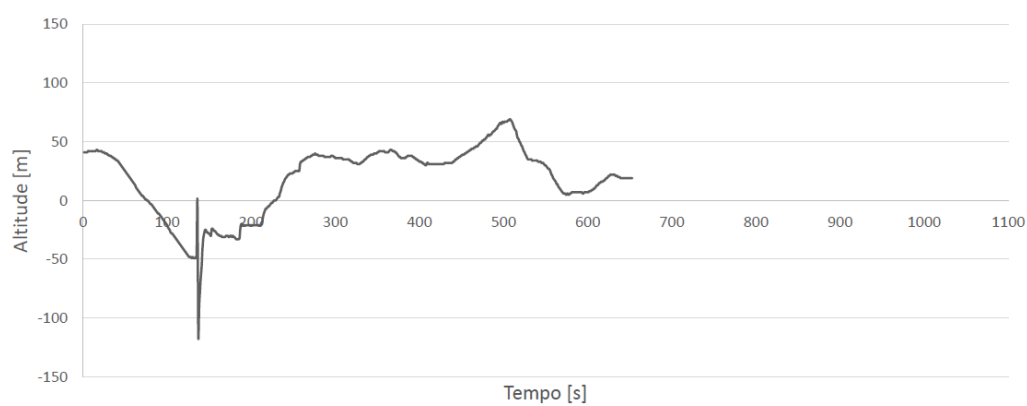


Figura A.37: Perfil de altitude - Percurso B (Teste 2)

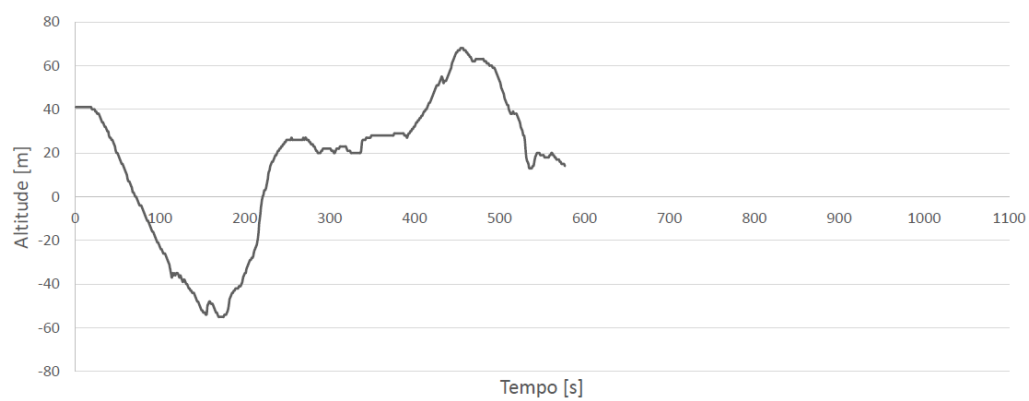


Figura A.38: Perfil de altitude - Percurso B (Teste 3)

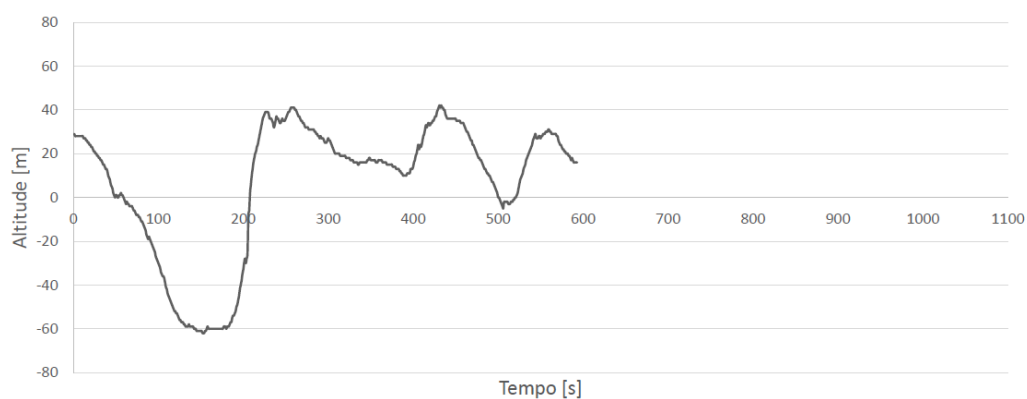


Figura A.39: Perfil de altitude - Percurso B (Teste 4)

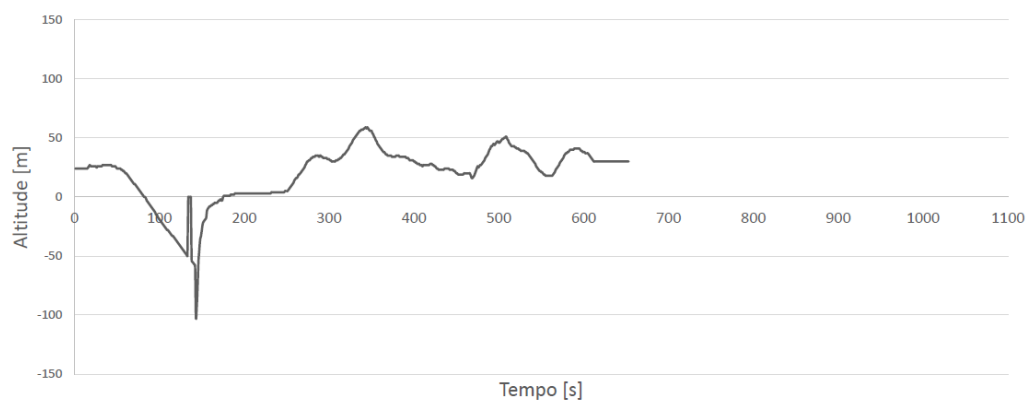


Figura A.40: Perfil de altitude - Percurso B (Teste 6)

### Percurso C

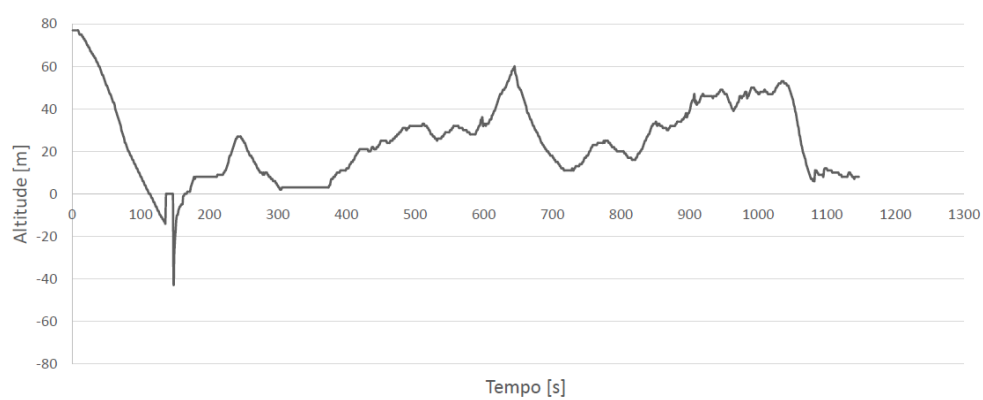


Figura A.41: Perfil de altitude - Percurso C (Teste 1)



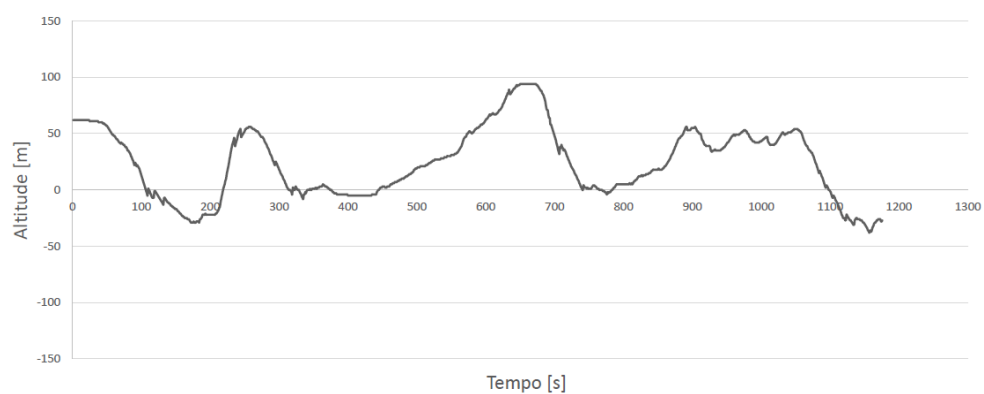


Figura A.42: Perfil de altitude - Percurso C (Teste 2)

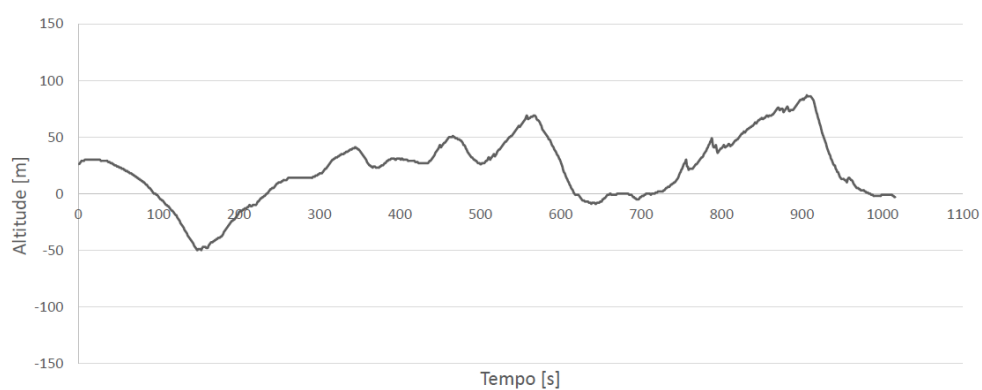


Figura A.43: Perfil de altitude - Percurso C (Teste 3)

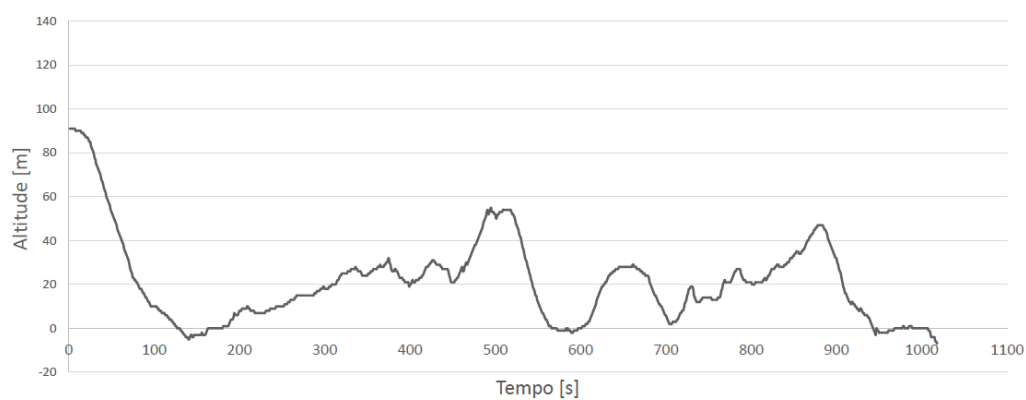


Figura A.44: Perfil de altitude - Percurso C (Teste 4)

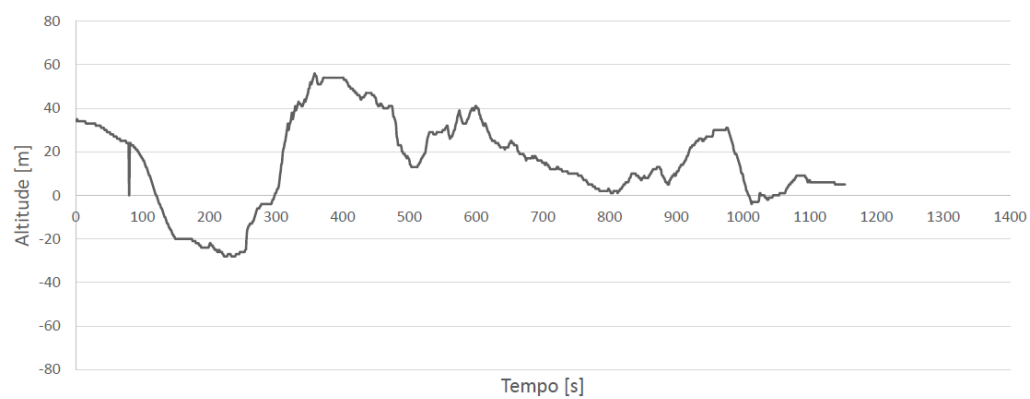
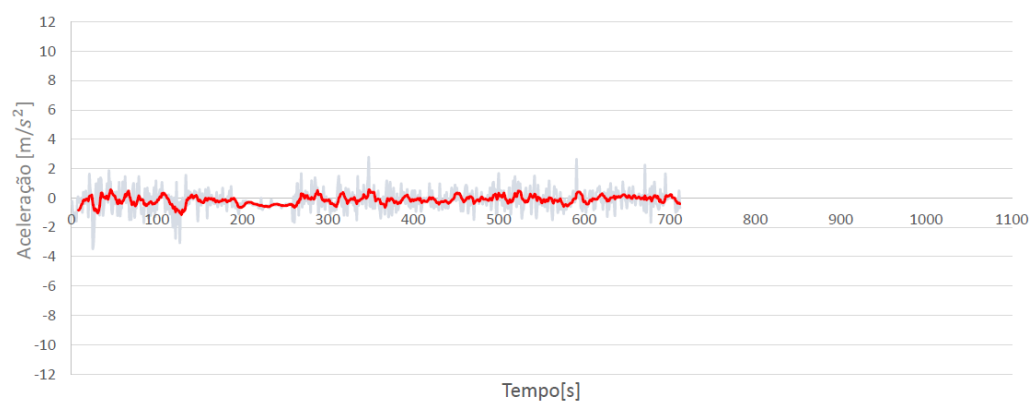


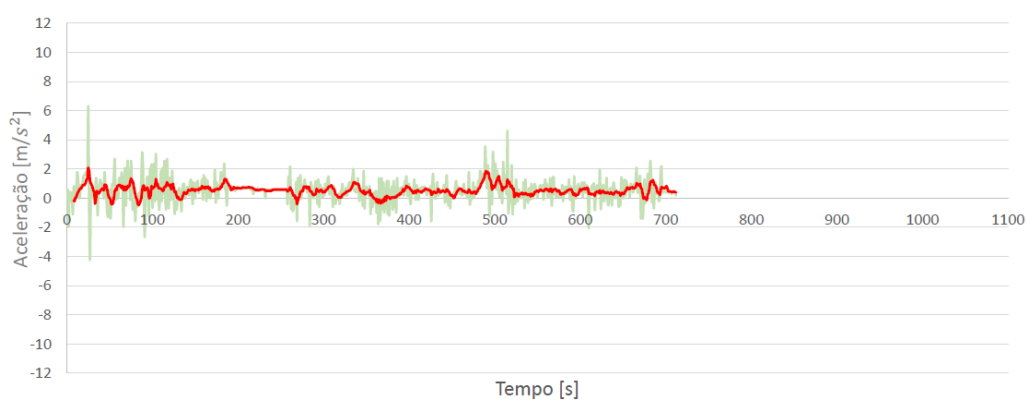
Figura A.45: Perfil de altitude - Percorso C (Teste 6)

## Perfil de Aceleração

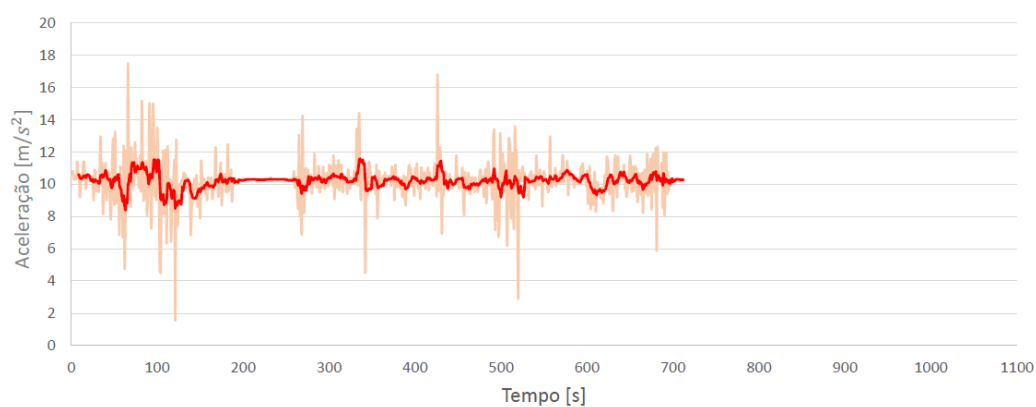
### Percurso A



(a) Aceleração segundo X

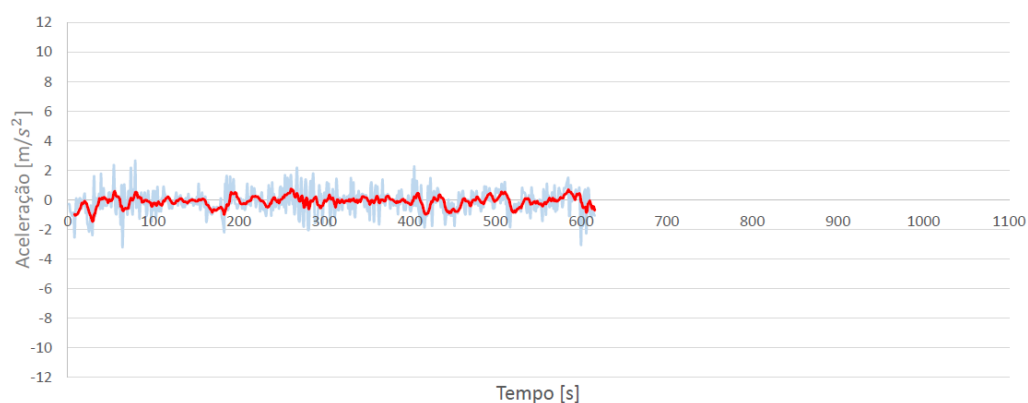


(b) Aceleração segundo Y

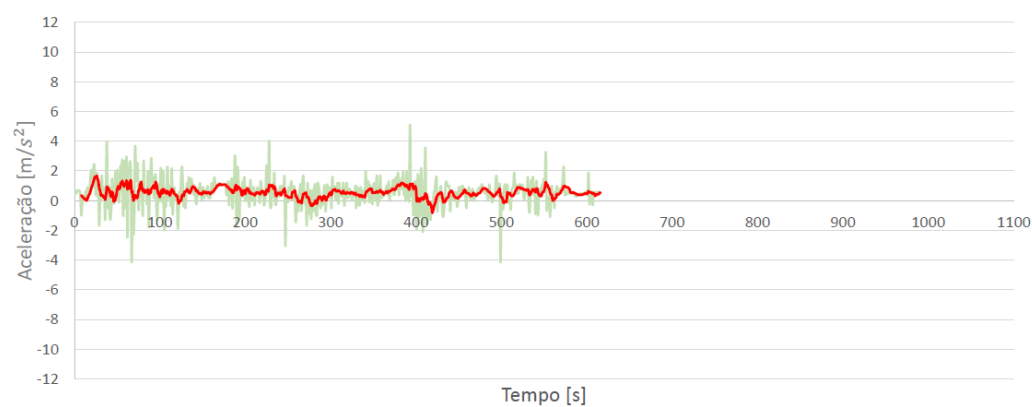


(c) Aceleração segundo Z

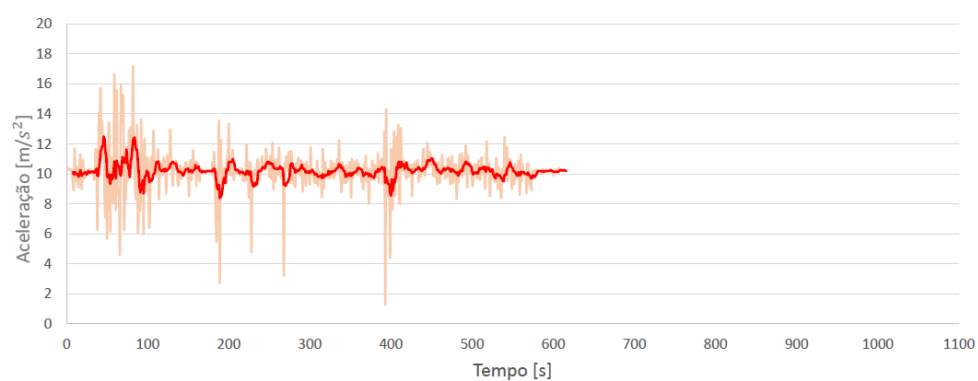
Figura A.46: Aceleração - Percurso A (Teste 1)



(a) Aceleração segundo X

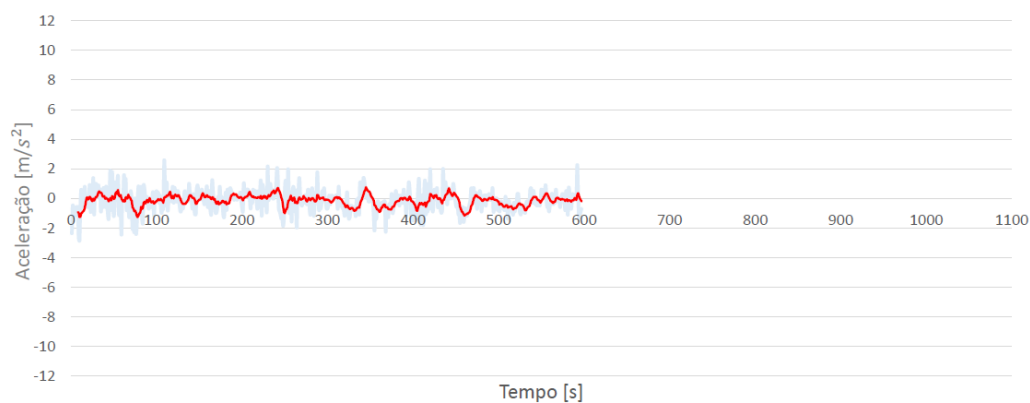


(b) Aceleração segundo Y

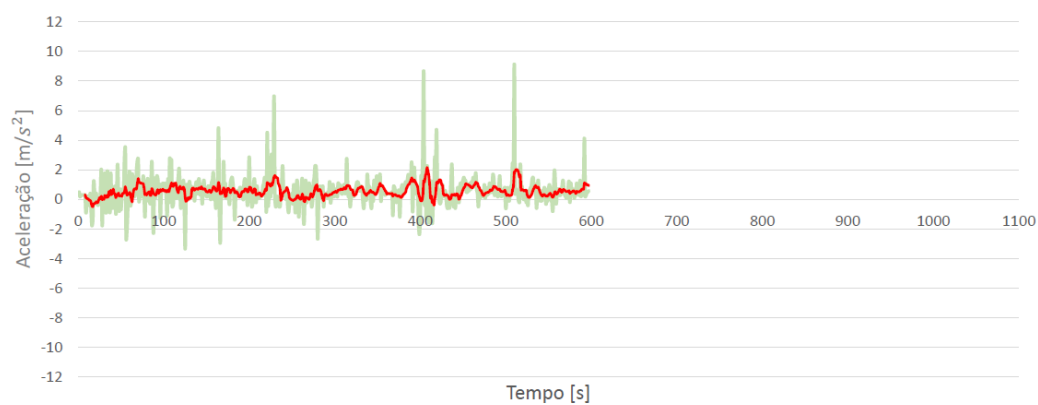


(c) Aceleração segundo Z

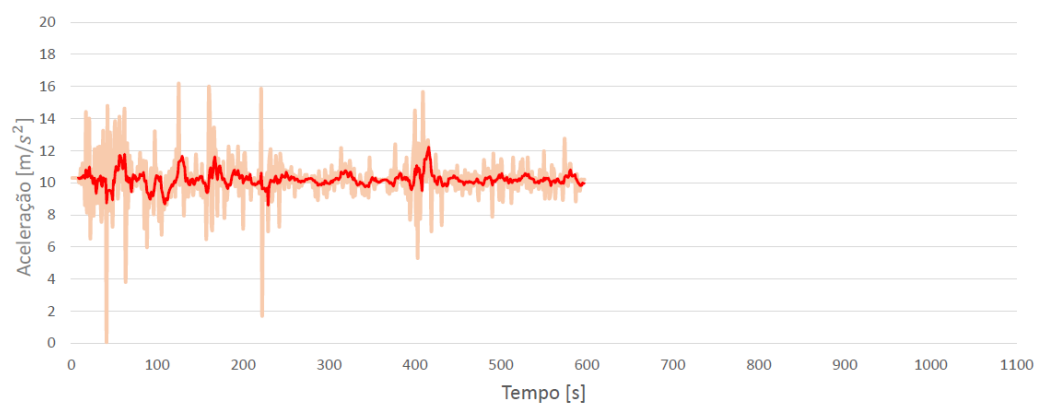
Figura A.47: Aceleração - Percurso A (Teste 2)



(a) Aceleração segundo X

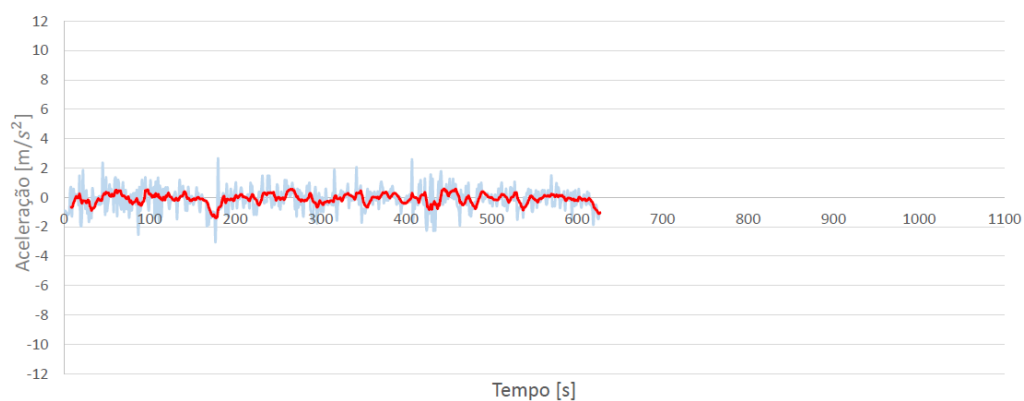


(b) Aceleração segundo Y

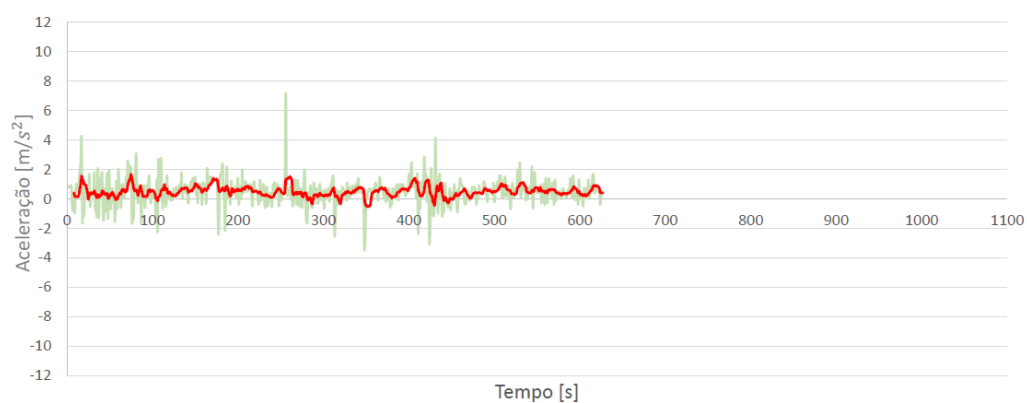


(c) Aceleração segundo Z

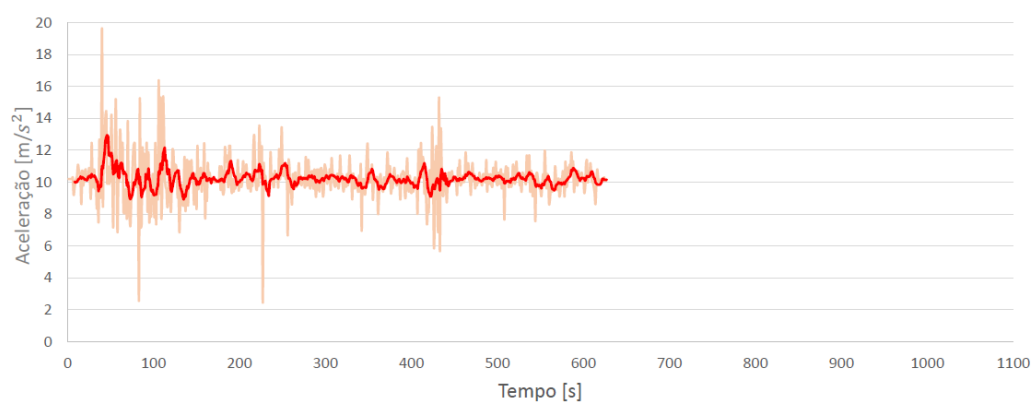
Figura A.48: Aceleração - Percurso A (Teste 3)



(a) Aceleração segundo X

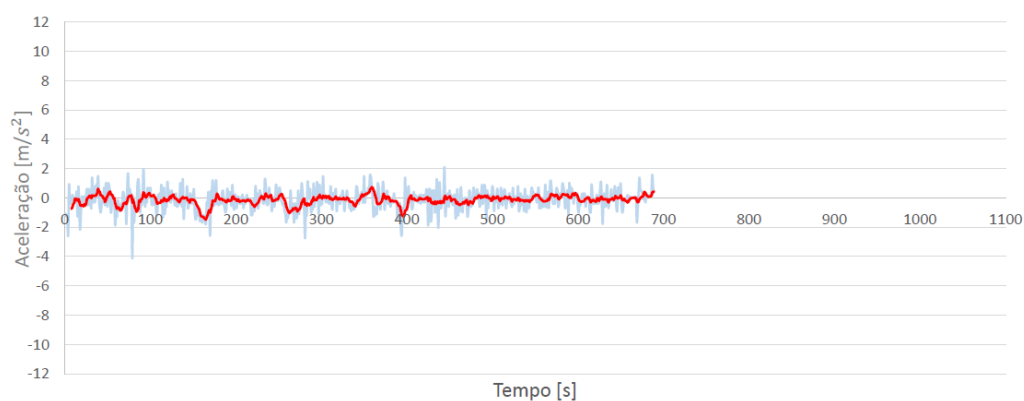


(b) Aceleração segundo Y

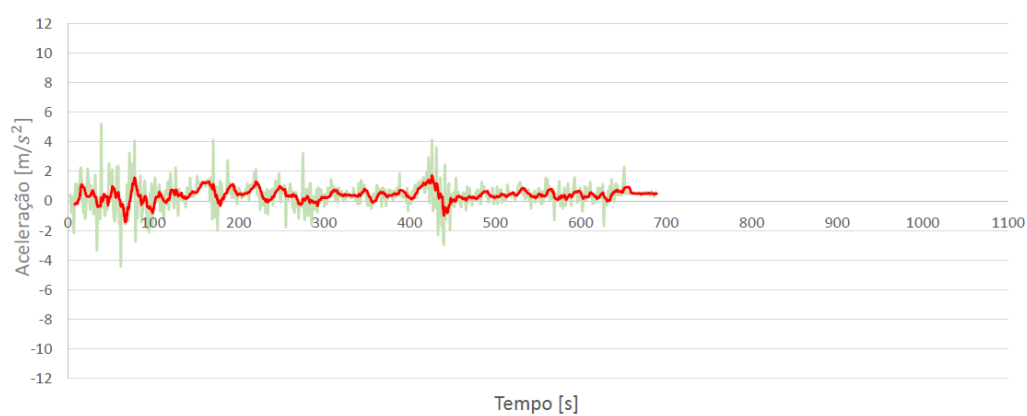


(c) Aceleração segundo Z

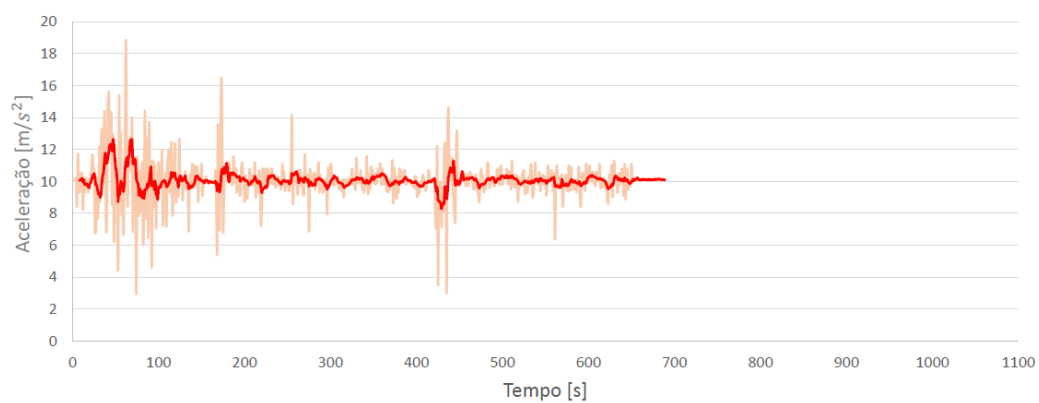
Figura A.49: Aceleração - Percurso A (Teste 4)



(a) Aceleração segundo X



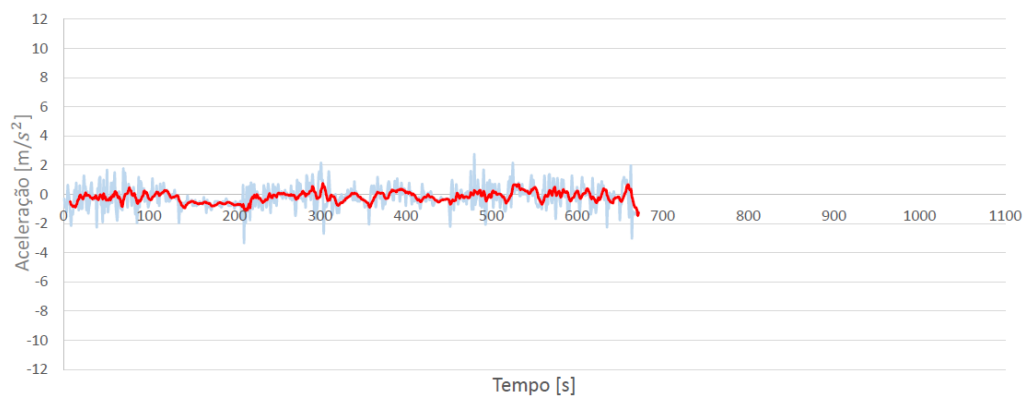
(b) Aceleração segundo Y



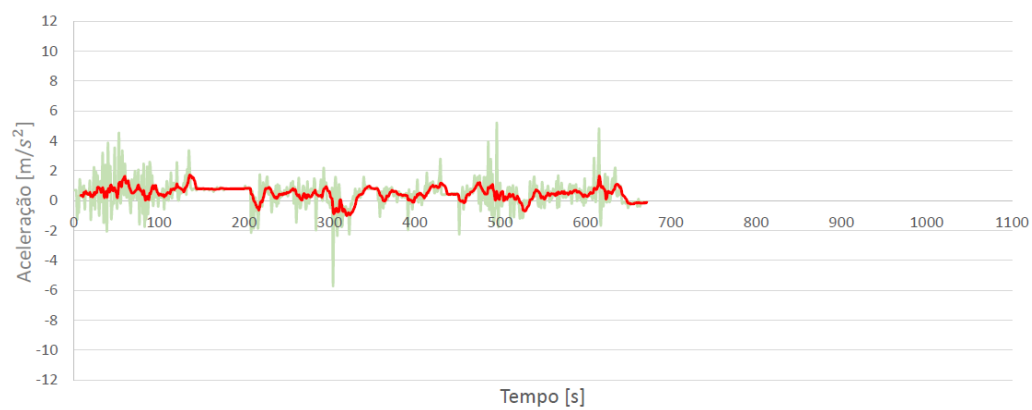
(c) Aceleração segundo Z

Figura A.50: Aceleração - Percurso A (Teste 6)

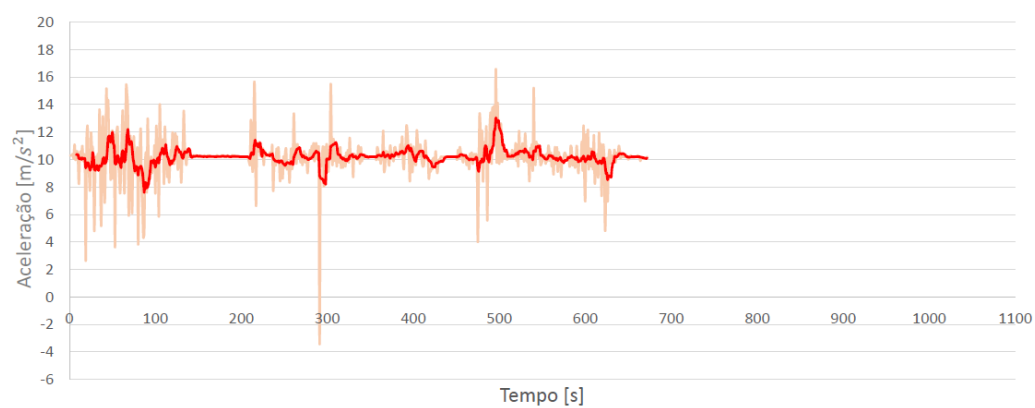
## Percurso B



(a) Aceleração segundo X



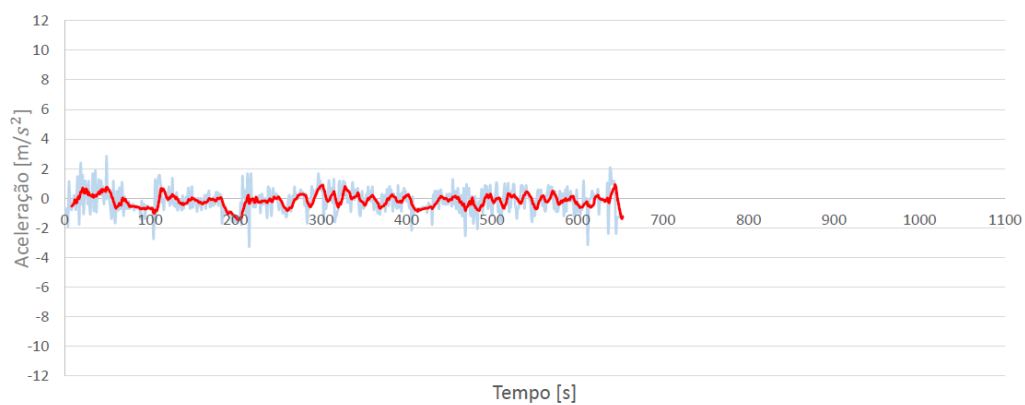
(b) Aceleração segundo Y



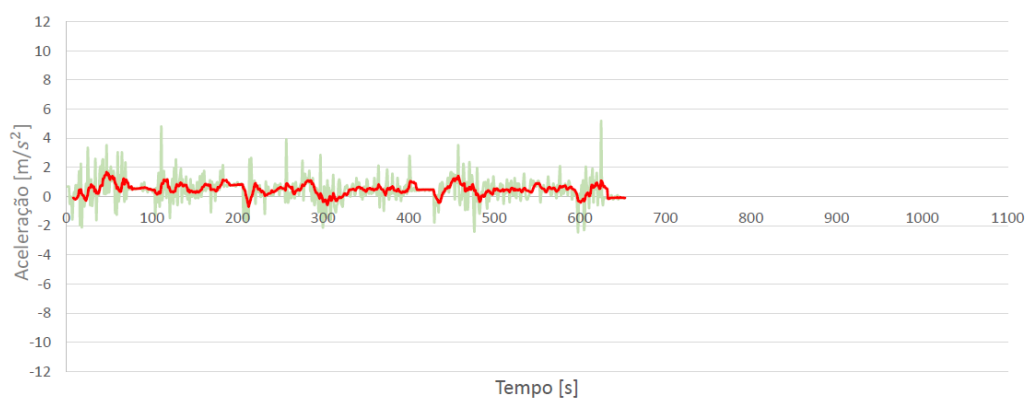
(c) Aceleração segundo Z

Figura A.51: Aceleração - Percurso B (Teste 1)

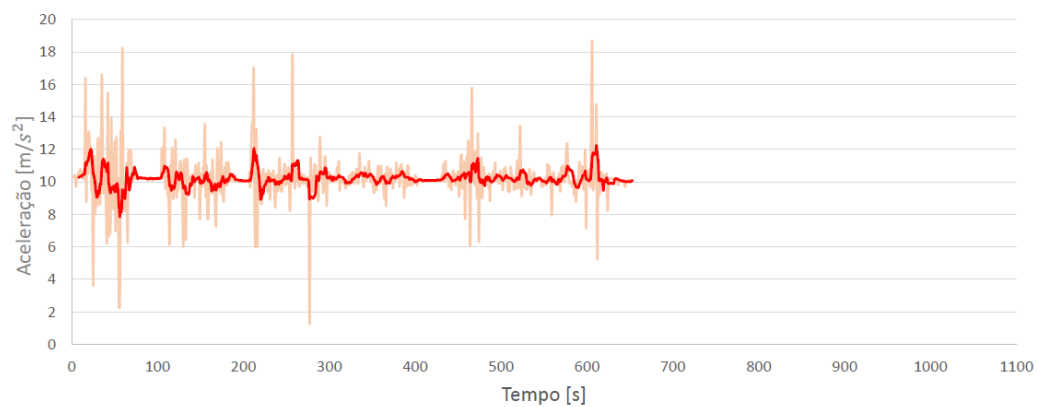




(a) Aceleração segundo X

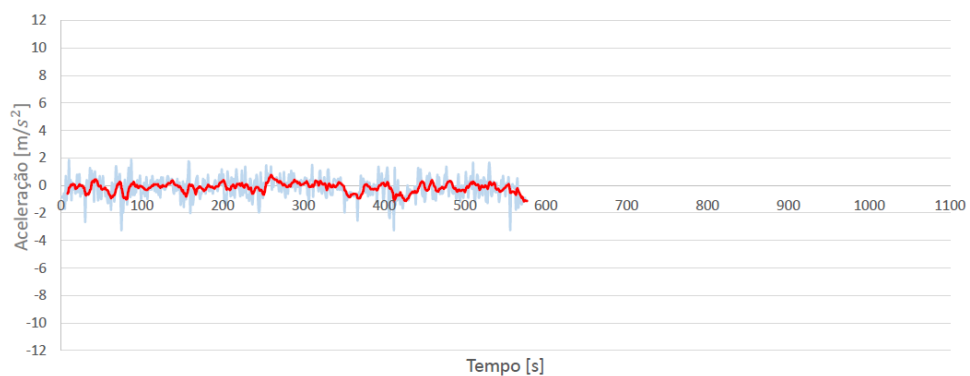


(b) Aceleração segundo Y

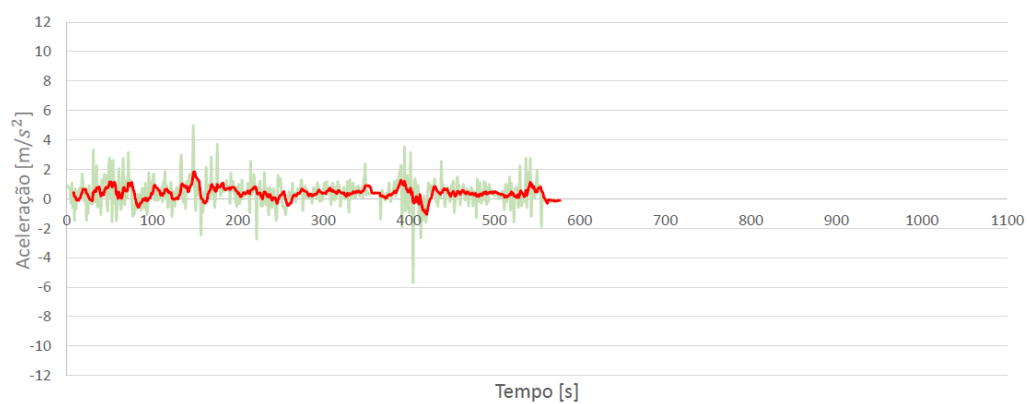


(c) Aceleração segundo Z

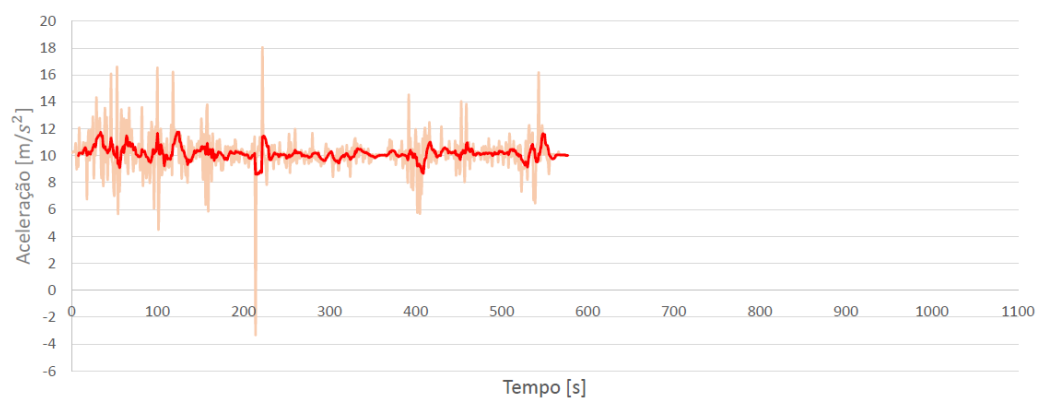
Figura A.52: Aceleração - Percurso B (Teste 2)



(a) Aceleração segundo X

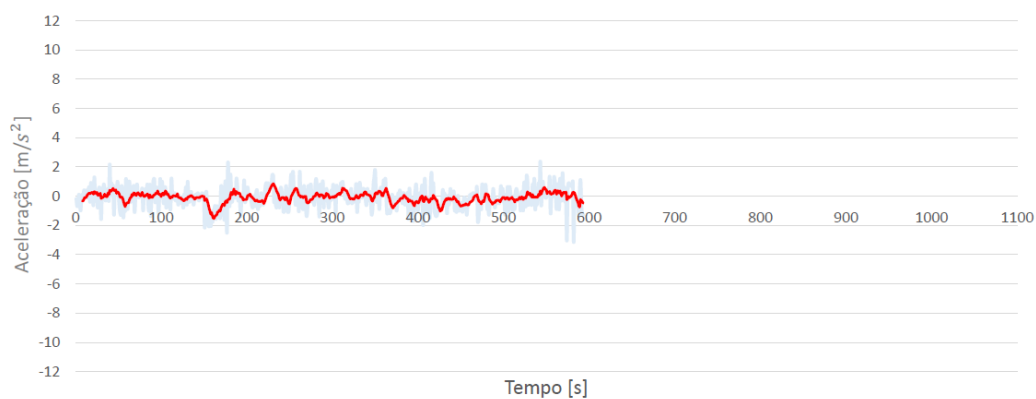


(b) Aceleração segundo Y

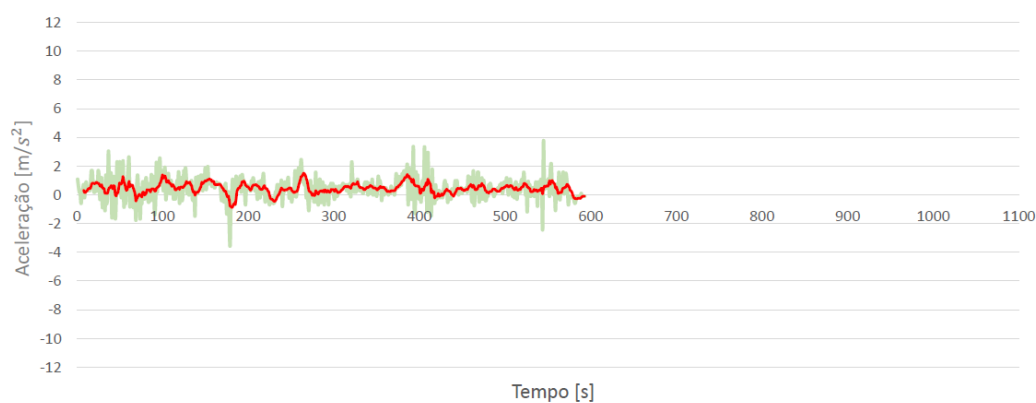


(c) Aceleração segundo Z

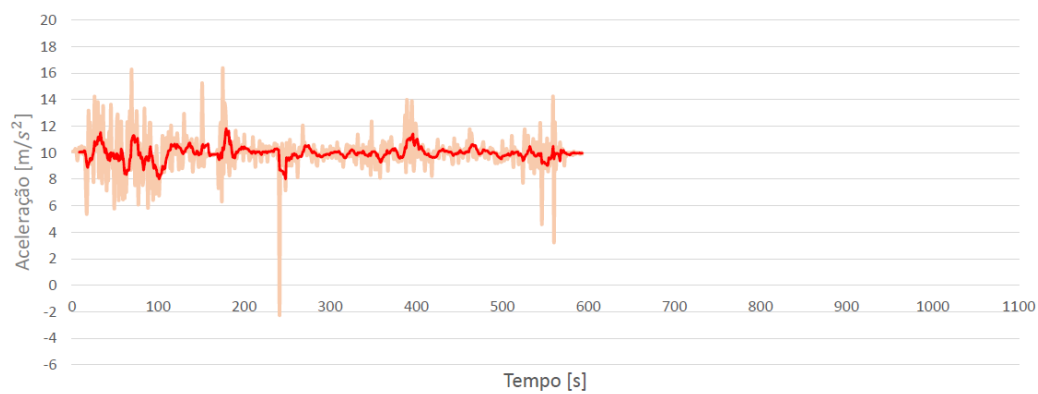
Figura A.53: Aceleração - Percurso B (Teste 3)



(a) Aceleração segundo X

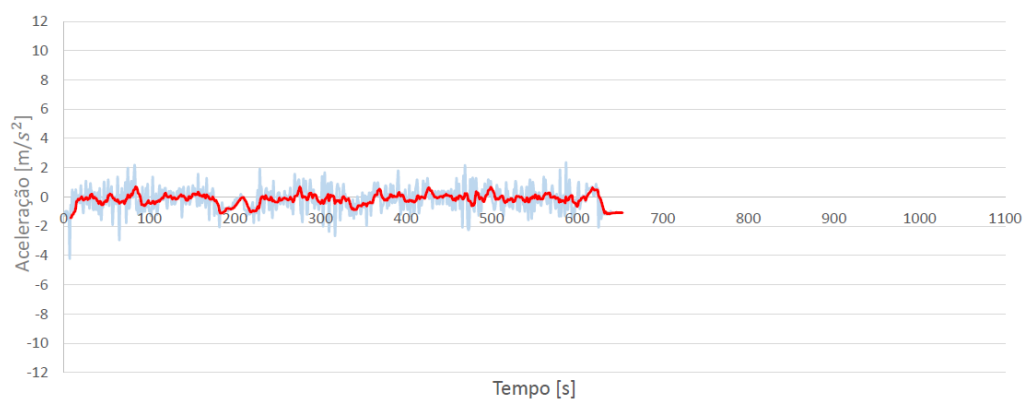


(b) Aceleração segundo Y

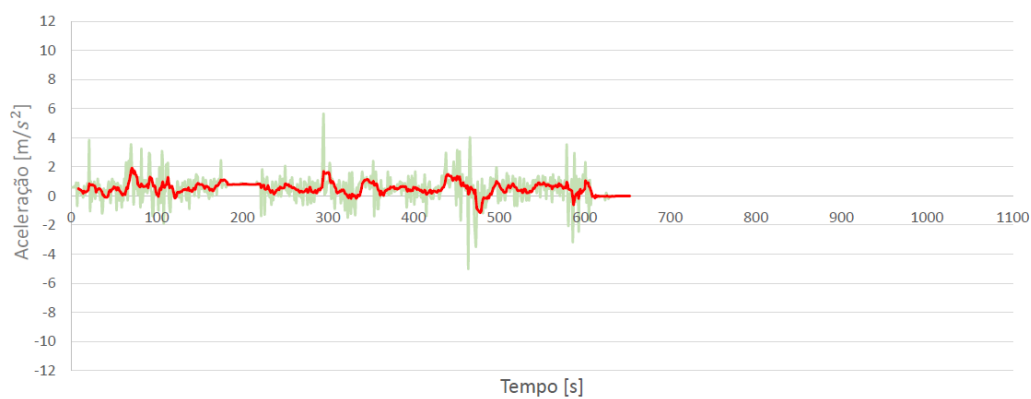


(c) Aceleração segundo Z

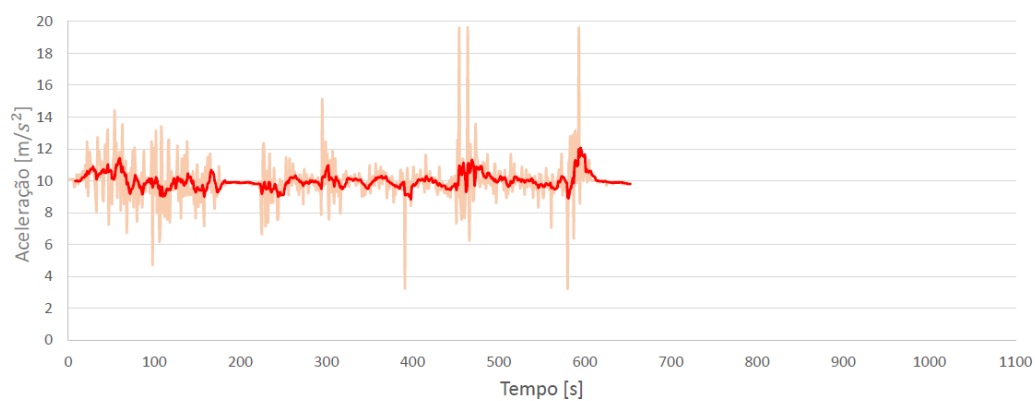
Figura A.54: Aceleração - Percurso B (Teste 4)



(a) Aceleração segundo X

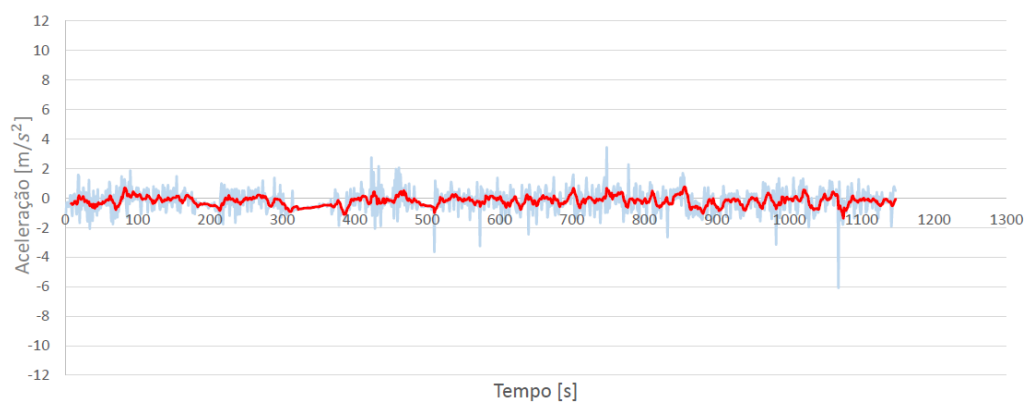


(b) Aceleração segundo Y

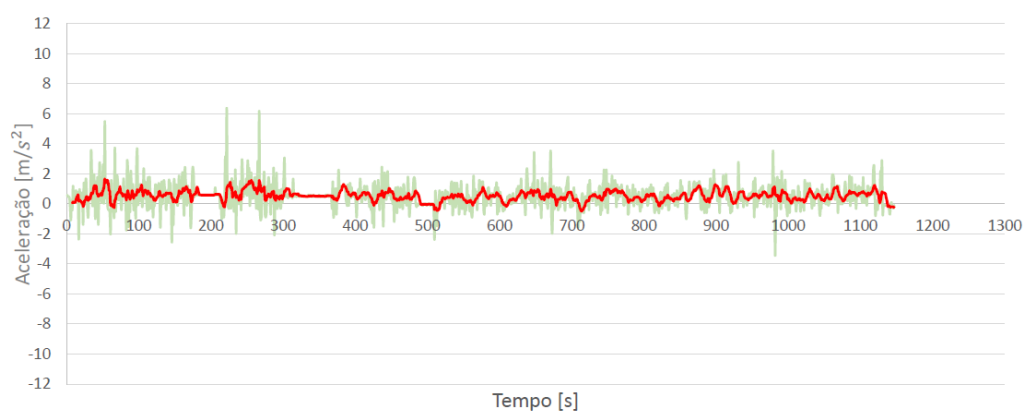


(c) Aceleração segundo Z

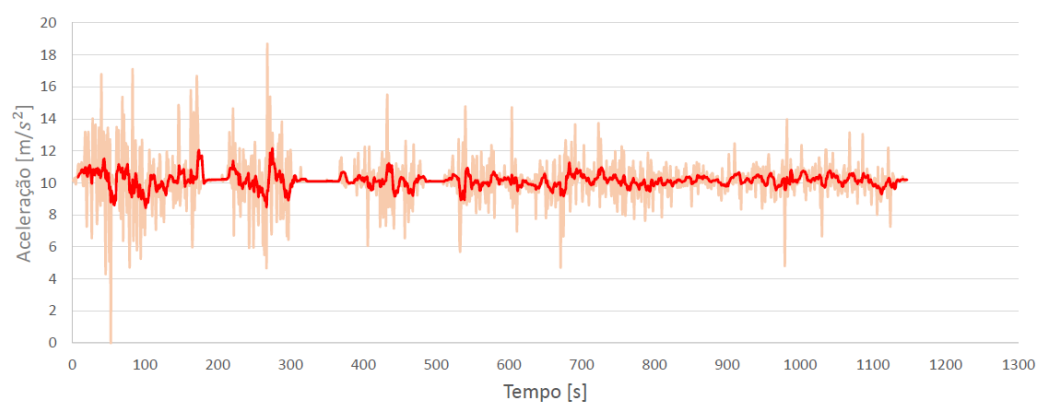
Figura A.55: Aceleração - Percorso B (Teste 6)

**Percurso C**

(a) Aceleração segundo X

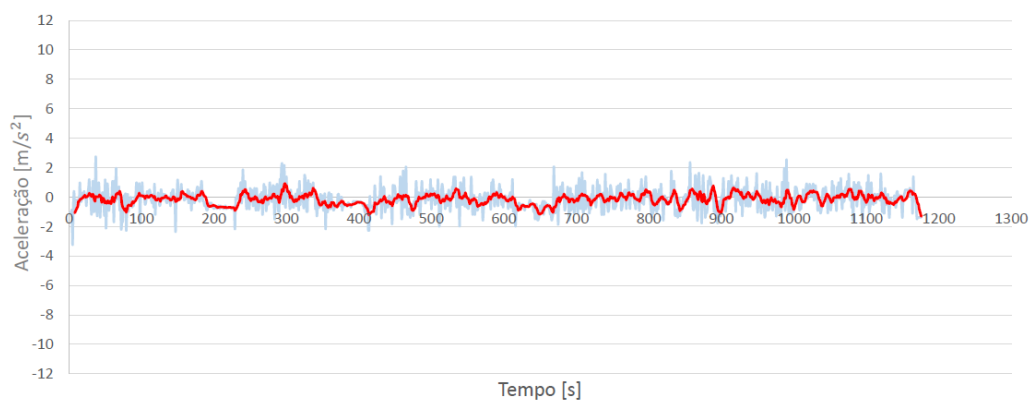


(b) Aceleração segundo Y

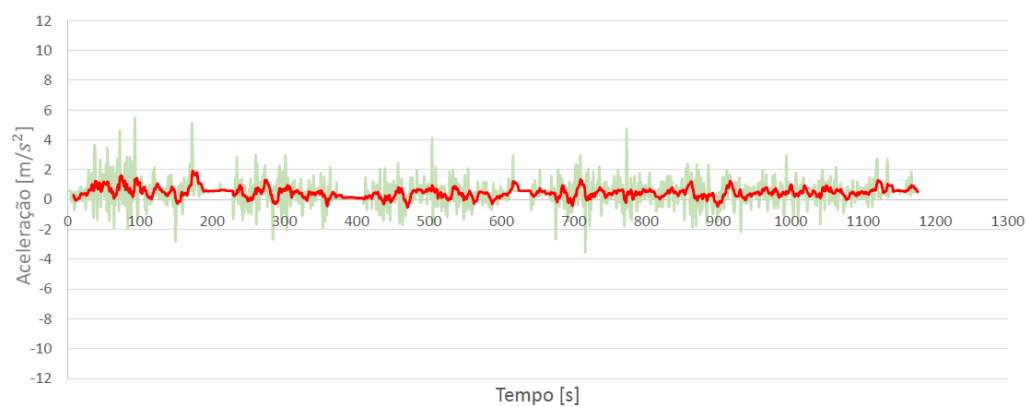


(c) Aceleração segundo Z

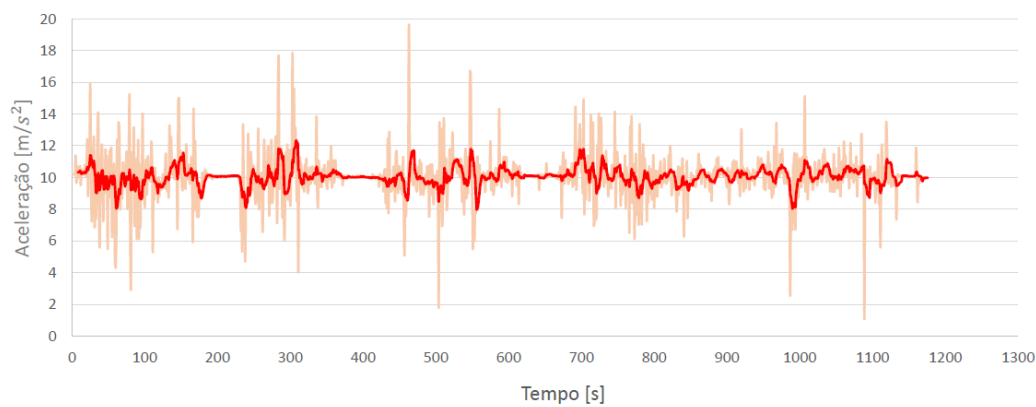
Figura A.56: Aceleração - Percurso C (Teste 1)



(a) Aceleração segundo X

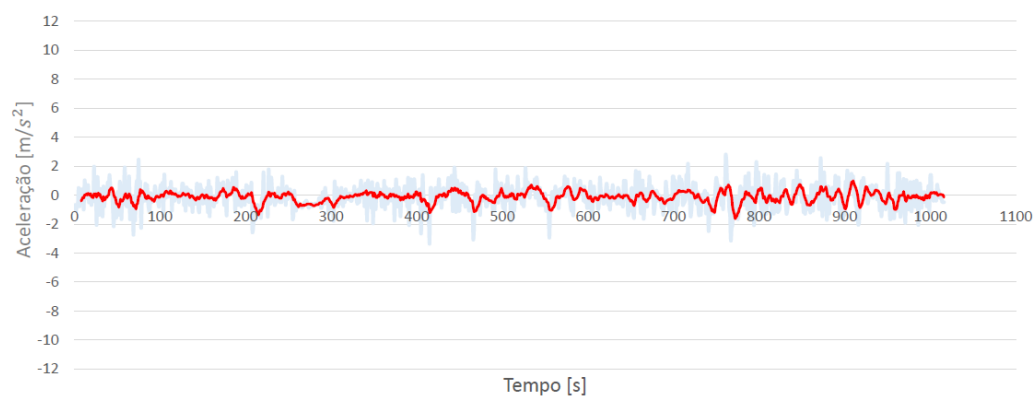


(b) Aceleração segundo Y

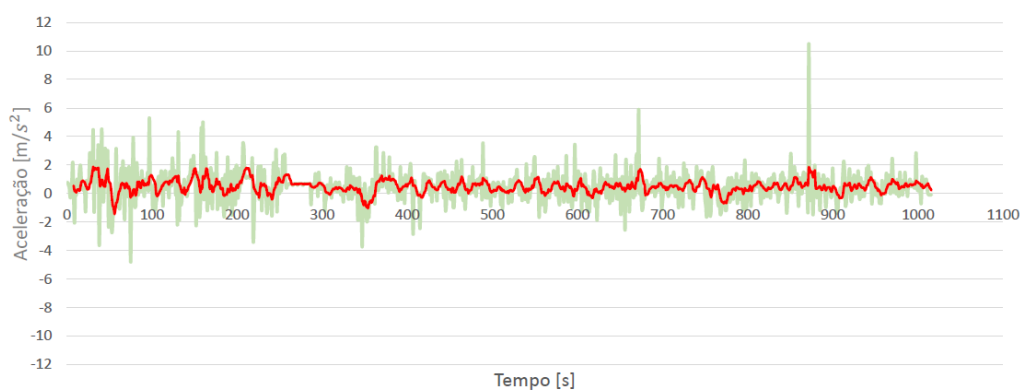


(c) Aceleração segundo Z

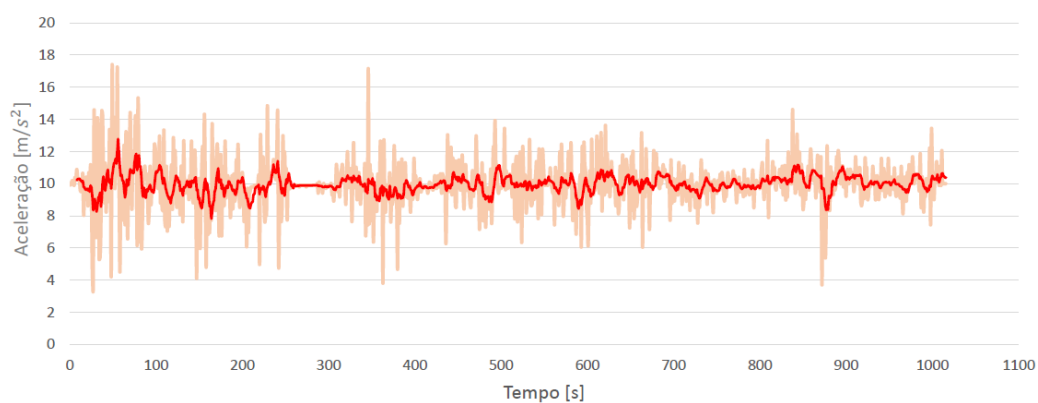
Figura A.57: Aceleração - Percurso C (Teste 2)



(a) Aceleração segundo X

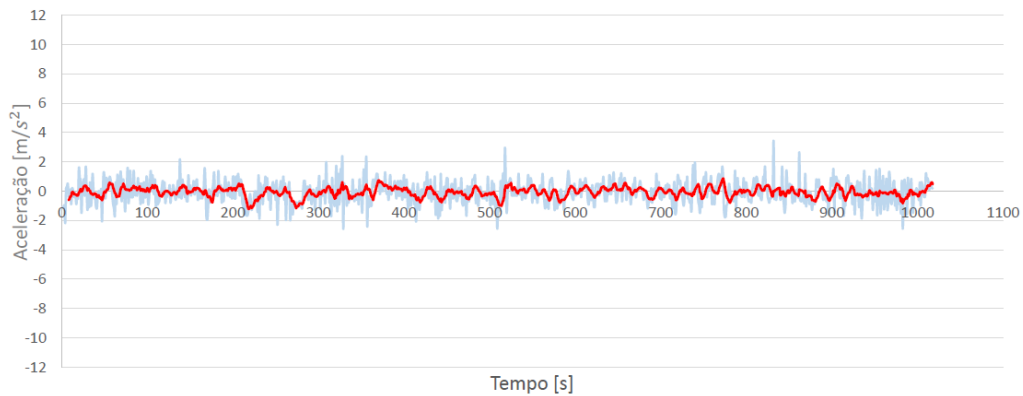


(b) Aceleração segundo Y

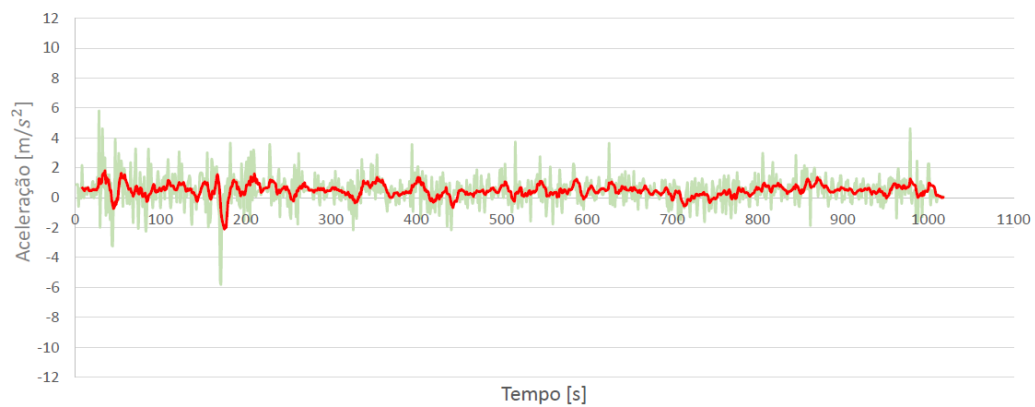


(c) Aceleração segundo Z

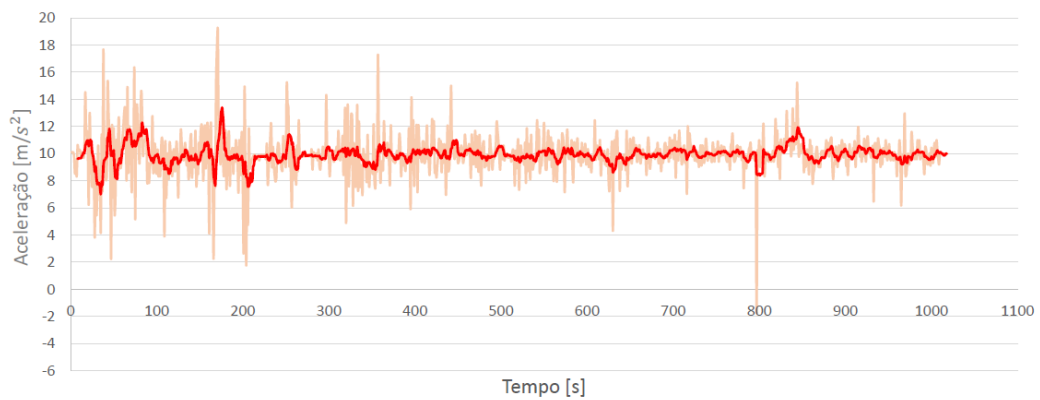
Figura A.58: Aceleração - Percurso C (Teste 3)



(a) Aceleração segundo X



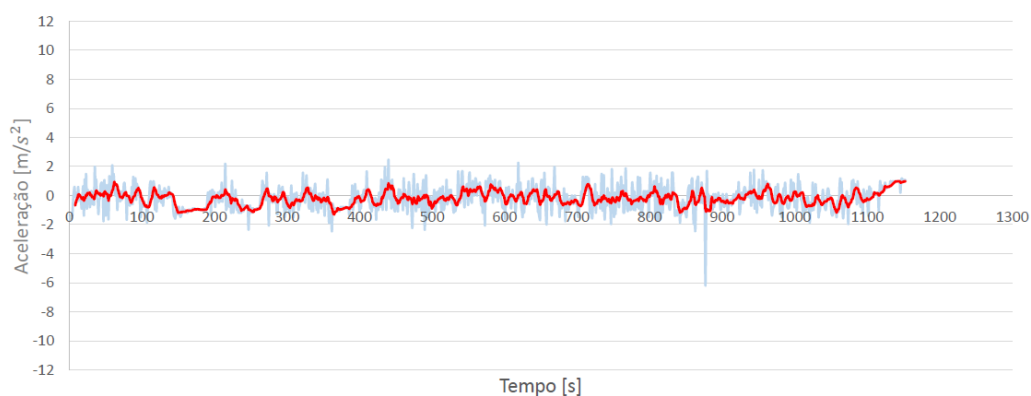
(b) Aceleração segundo Y



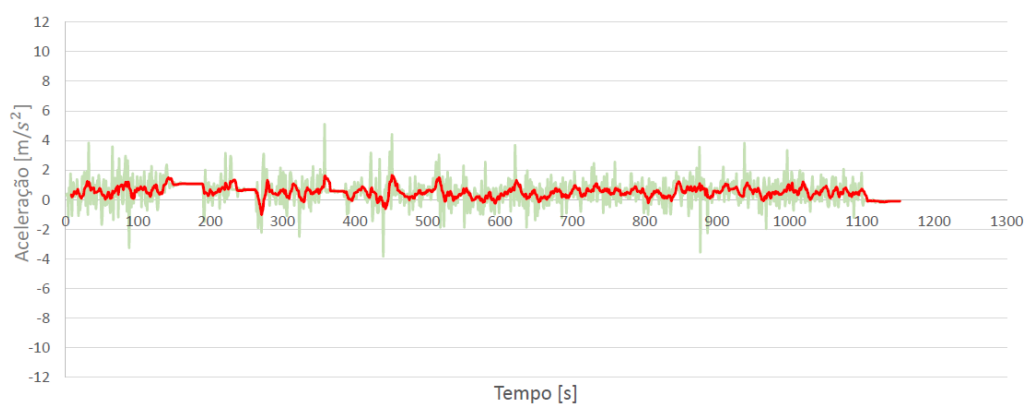
(c) Aceleração segundo Z

Figura A.59: Aceleração - Percorso C (Teste 4)

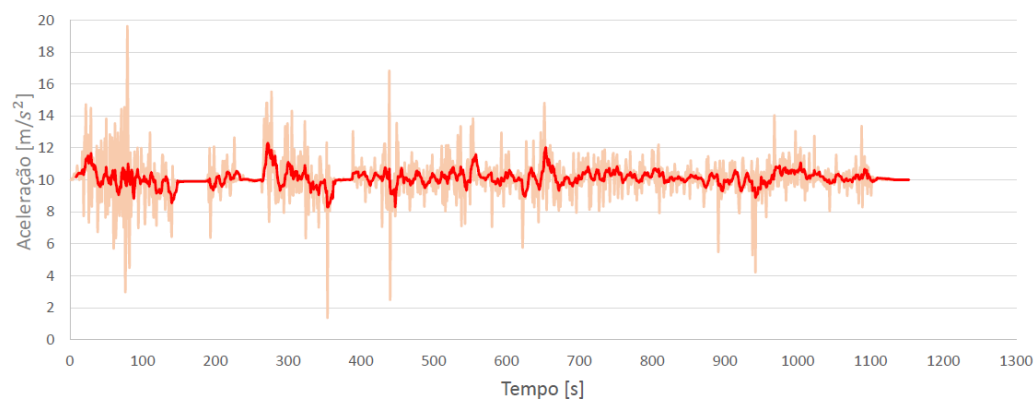




(a) Aceleração segundo X



(b) Aceleração segundo Y



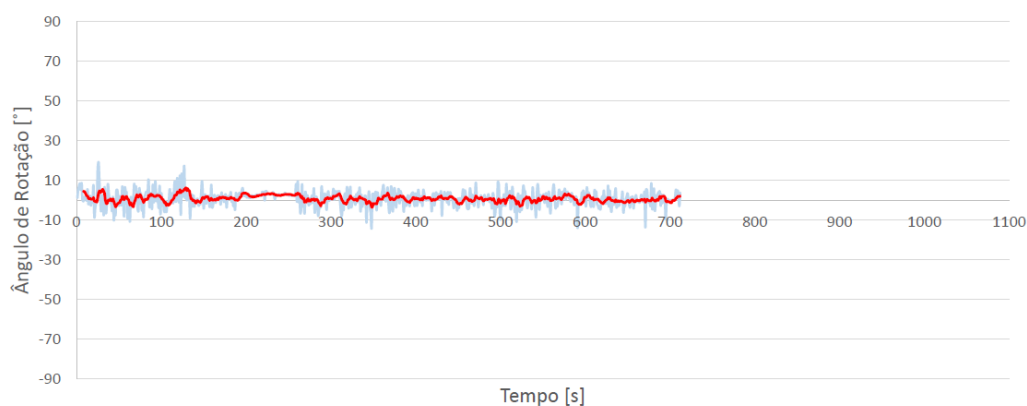
(c) Aceleração segundo Z

Figura A.60: Aceleração - Percurso C (Teste 6)

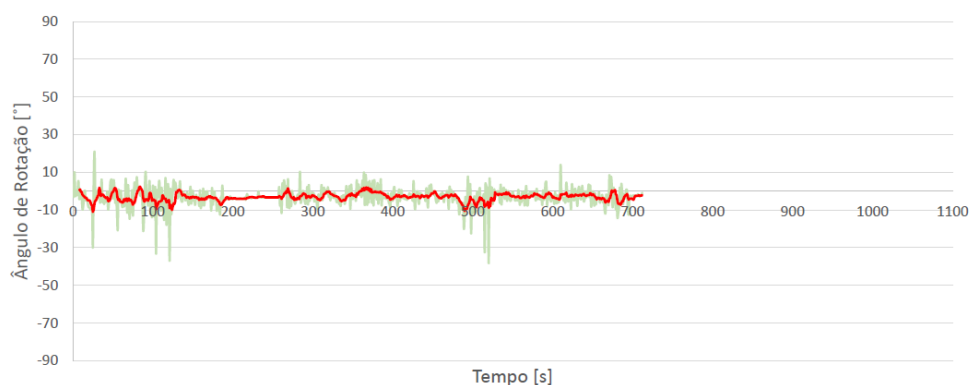
## Perfil de Ângulo de Rotação

Os resultados nas primeiras monitorizações experimentais revelaram-se bastante inconclusivos, apesar disso nesta seção será exposta informação dos perfis de ângulo de rotação obtidos de forma a dar a conhecer ao leitor, salvaguardando o facto de que os dados apresentem um elevado erro de leitura (figuras A.65 a A.77).

### Percurso A

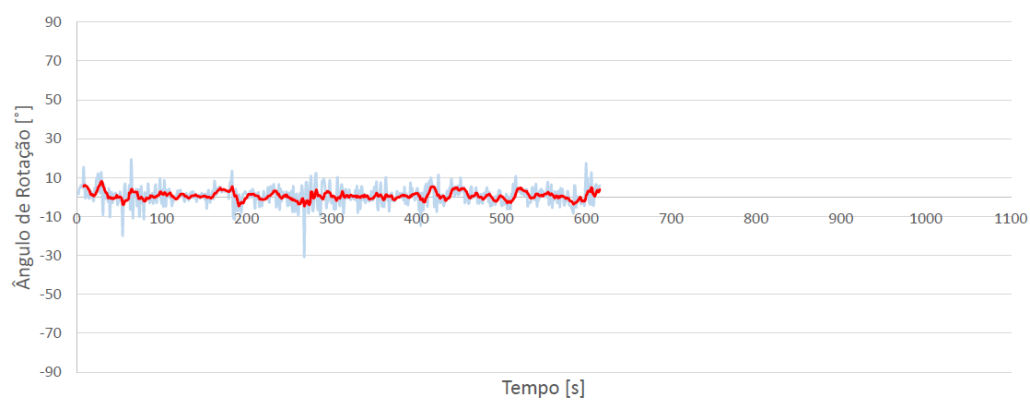


(a) Ângulo de rotação segundo X

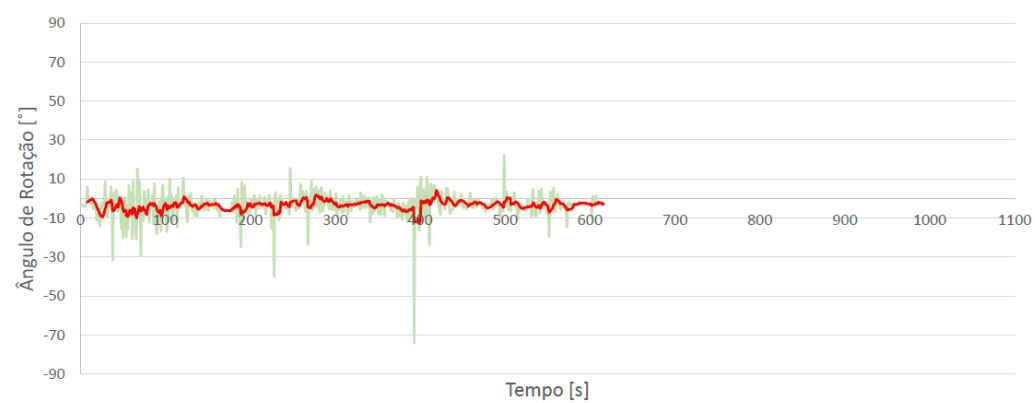


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.61: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso A (Teste 1)

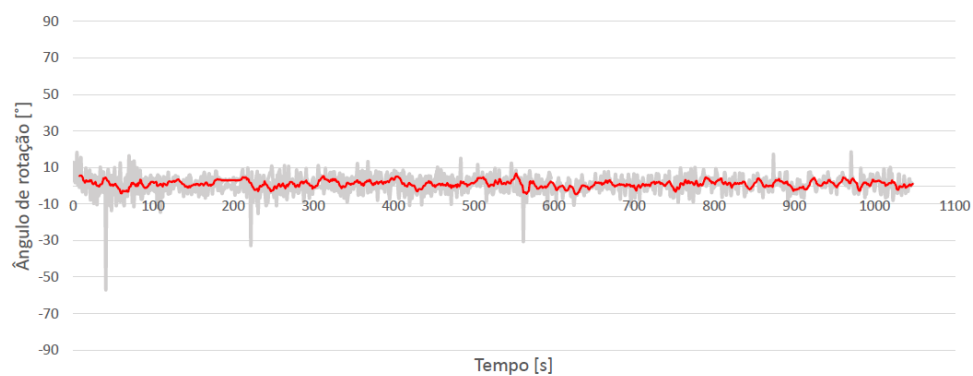


(a) Ângulo de rotação segundo X



(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.62: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso A (Teste 2)

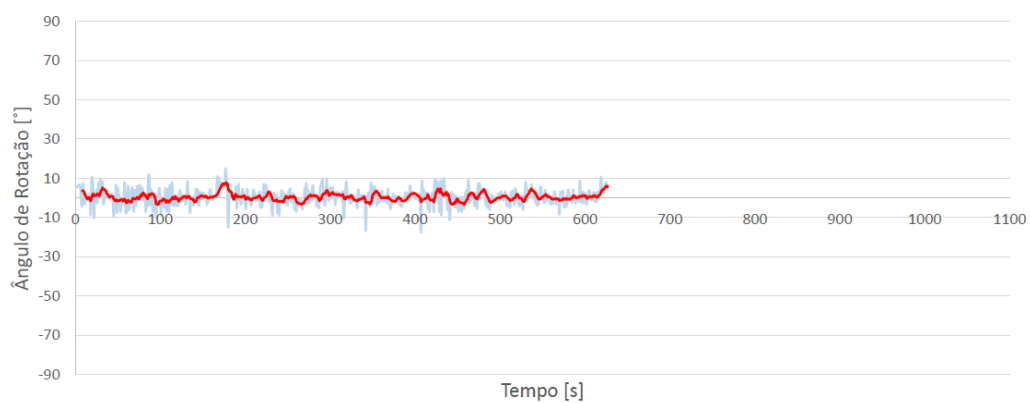


(a) Ângulo de rotação segundo X

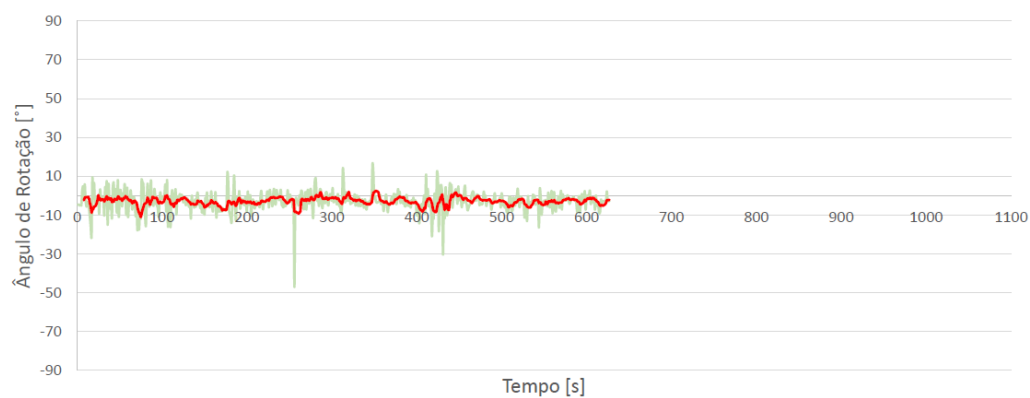


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.63: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso A (Teste 3)

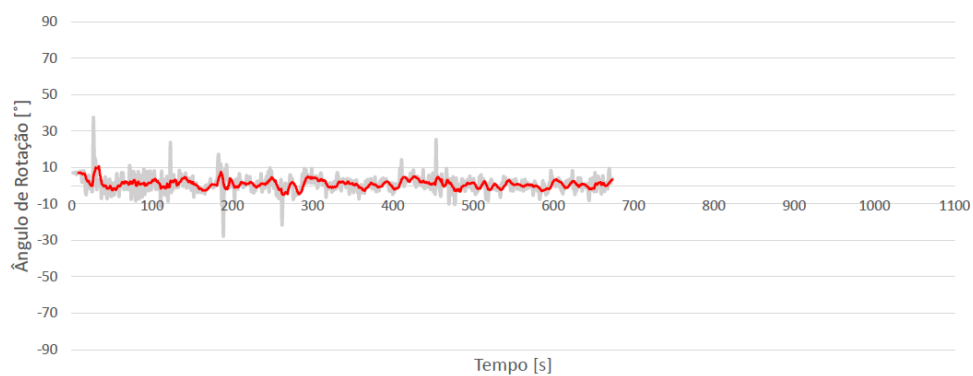


(a) Ângulo de rotação segundo X

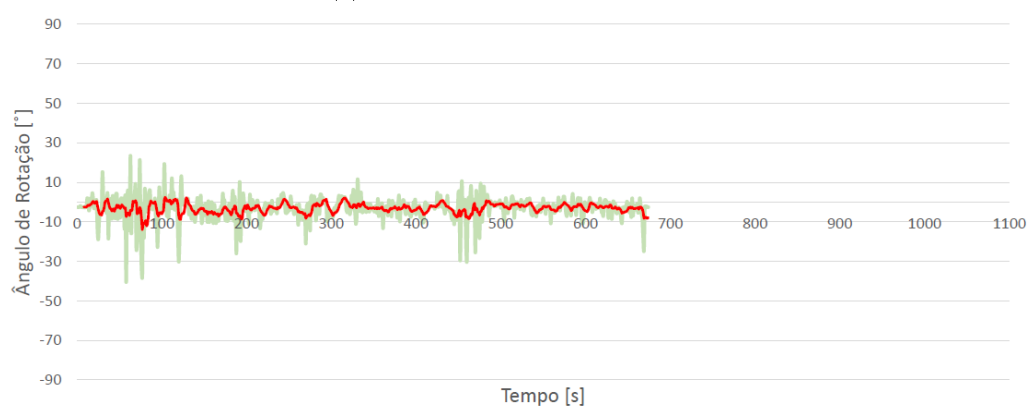


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.64: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso A (Teste 4)

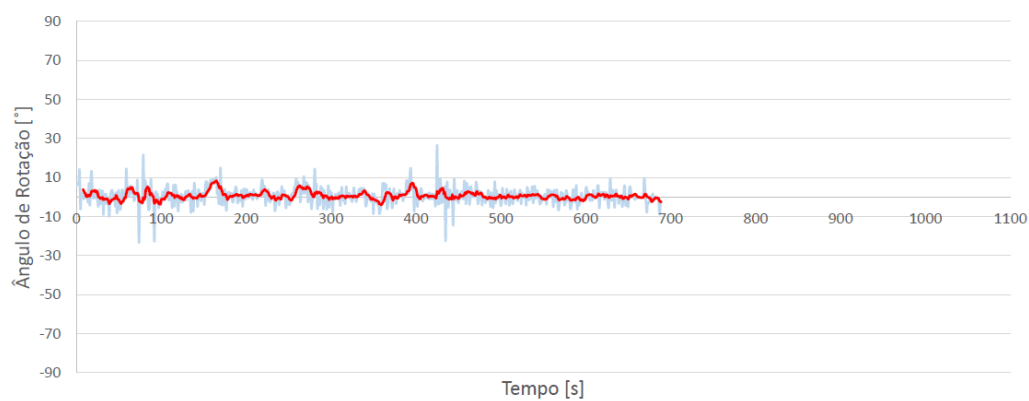


(a) Ângulo de rotação segundo X

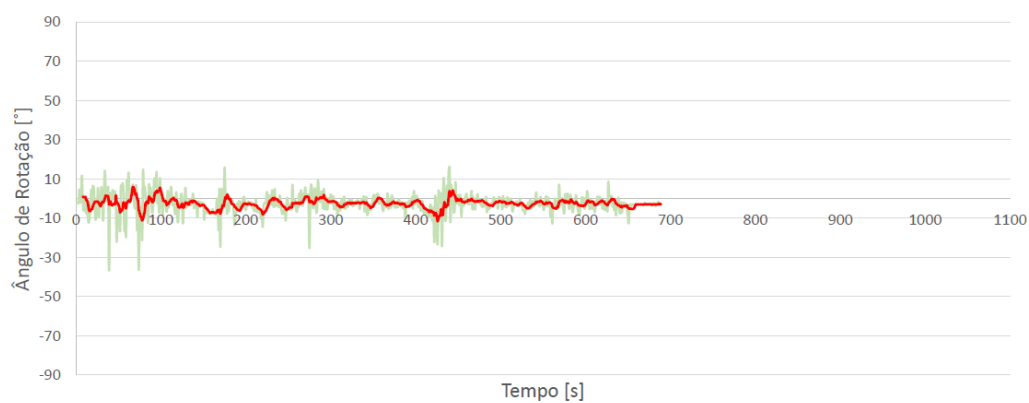


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.65: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso A (Teste 5)

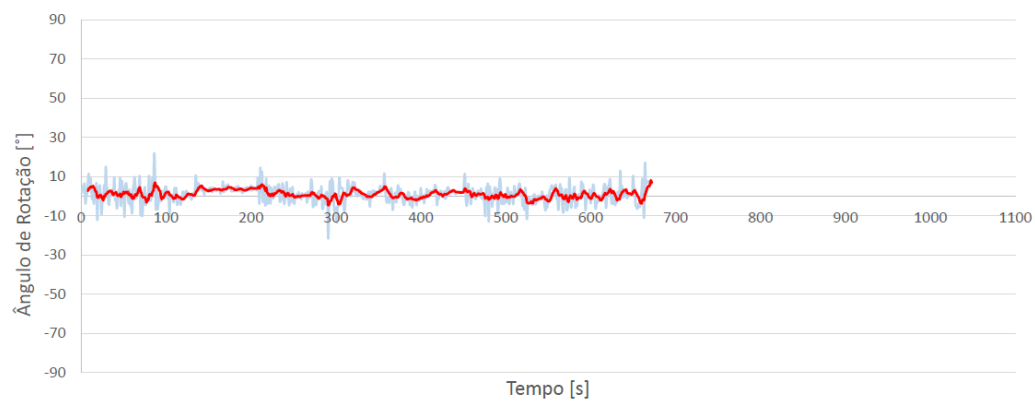


(a) Ângulo de rotação segundo X

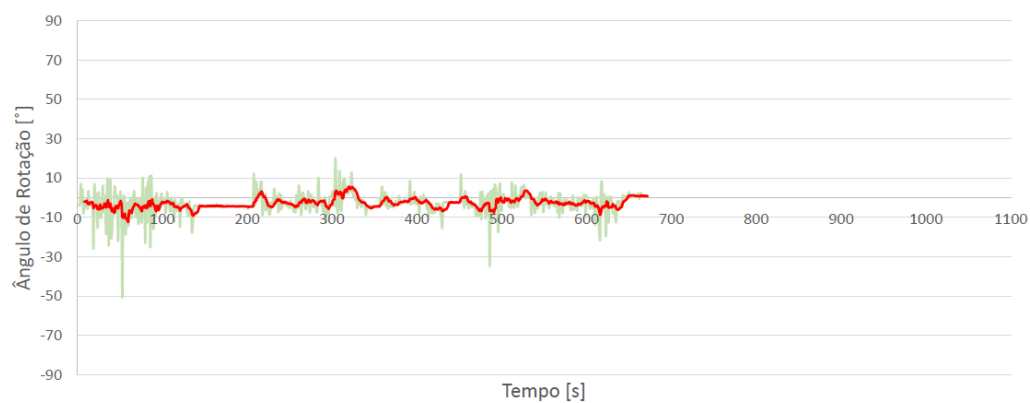


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.66: Perfil de Ângulo de rotação - Percorso A (Teste 6)

**Percurso B**

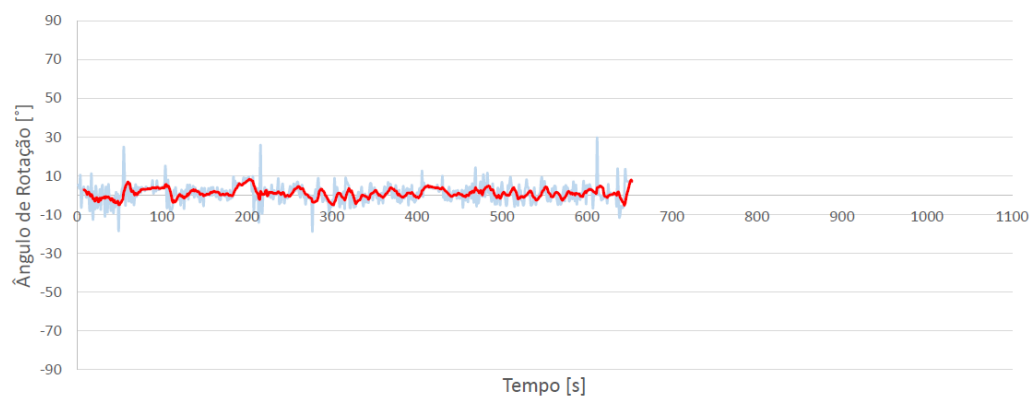
(a) Ângulo de rotação segundo X



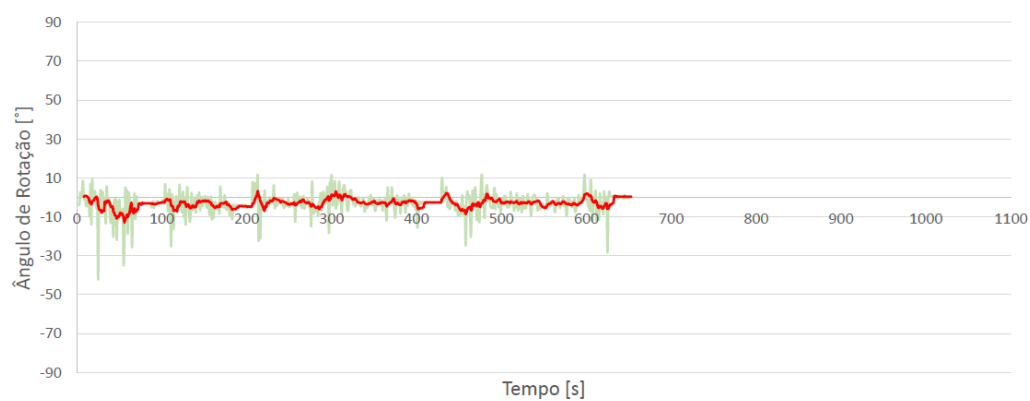
(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.67: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso B (Teste 1)



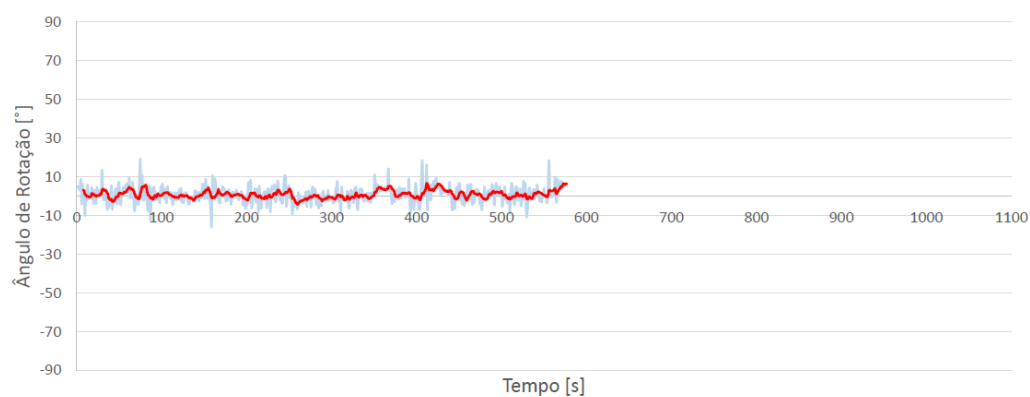


(a) Ângulo de rotação segundo X



(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.68: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso B (Teste 2)

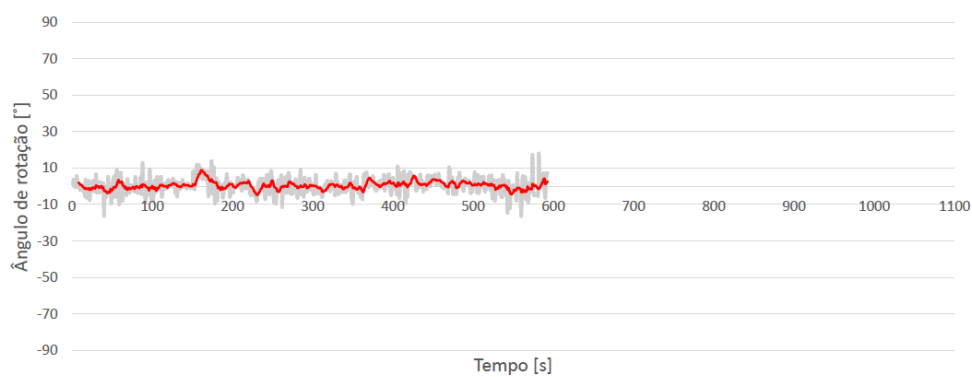


(a) Ângulo de rotação segundo X



(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.69: Perfil de Ângulo de rotação - Percorso B (Teste 3)

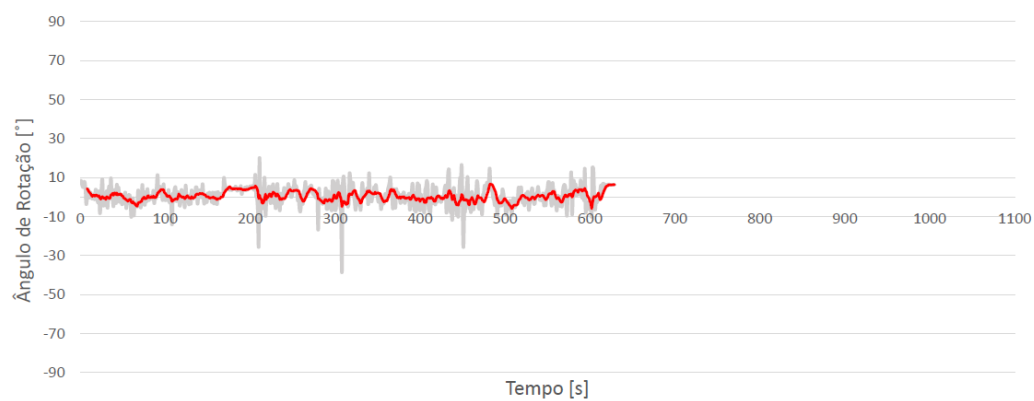


(a) Ângulo de rotação segundo X

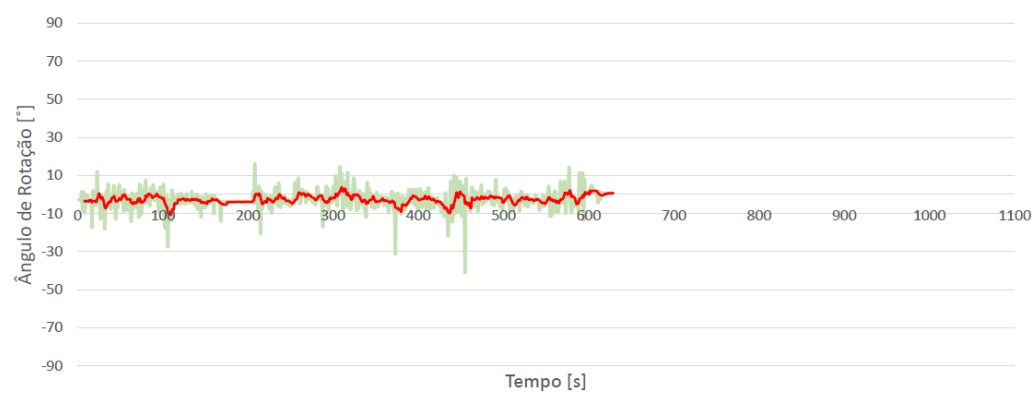


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.70: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso B (Teste 4)

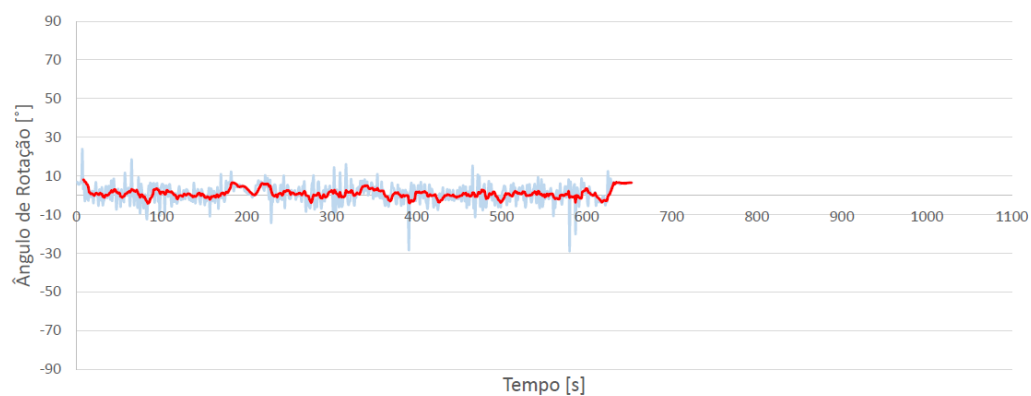


(a) Ângulo de rotação segundo X

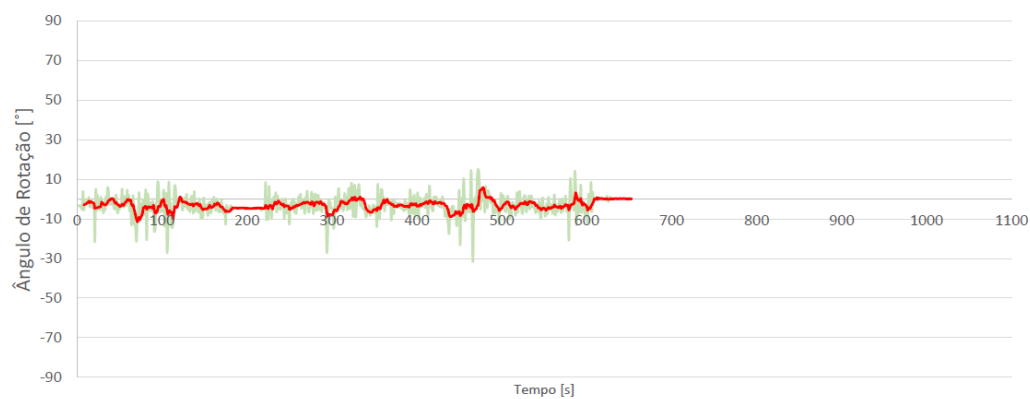


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.71: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso B (Teste 5)

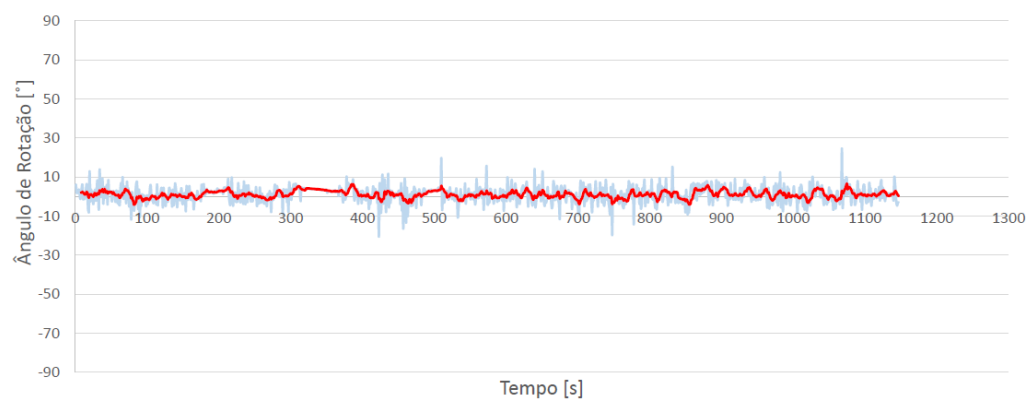


(a) Ângulo de rotação segundo X

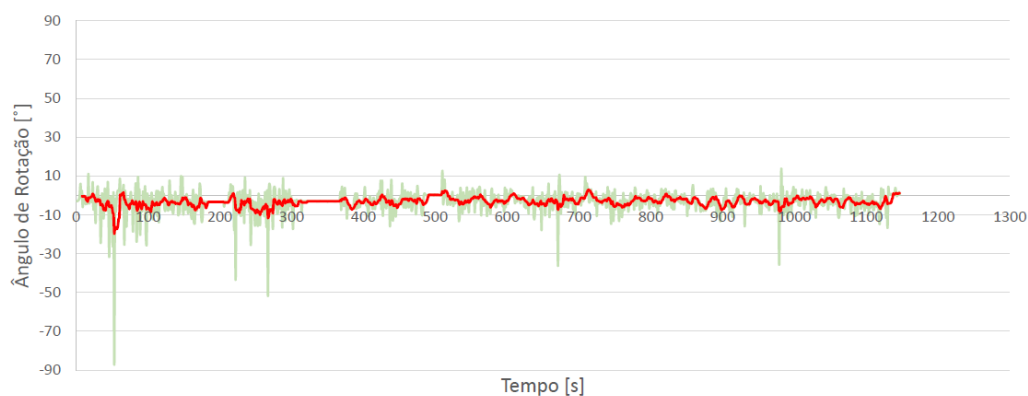


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.72: Perfil de Ângulo de rotação - Percorso B (Teste 6)

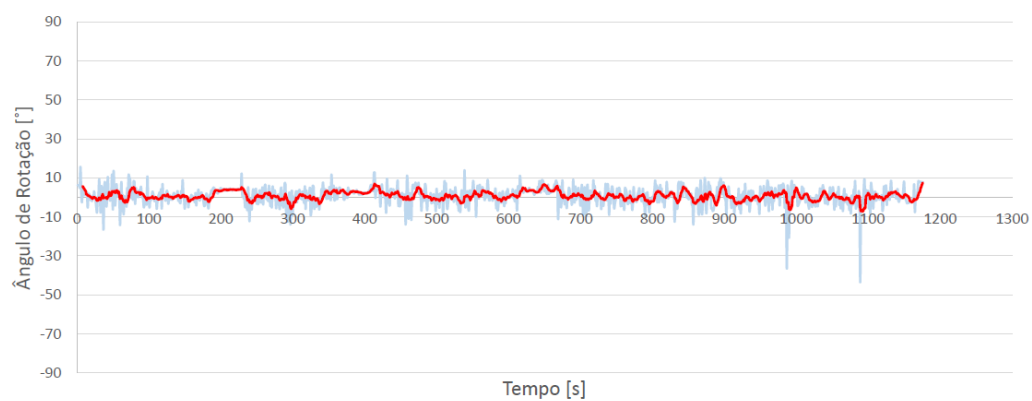
**Percurso C**

(a) Ângulo de rotação segundo X

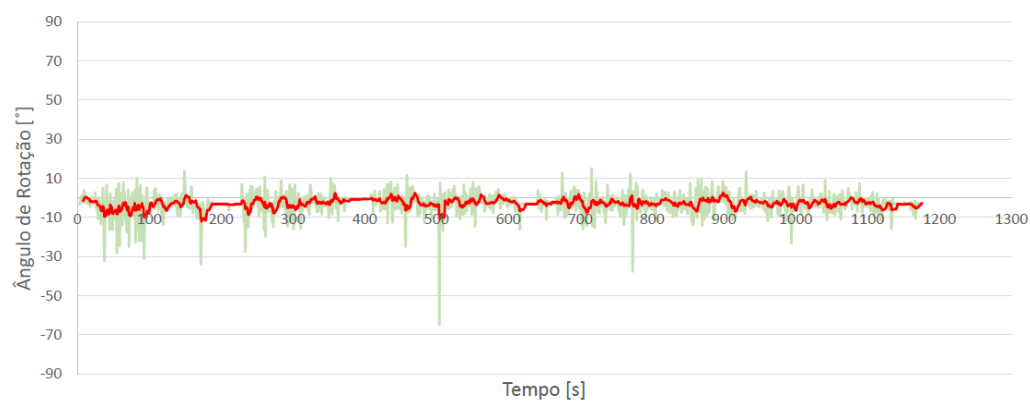


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.73: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso C (Teste 1)

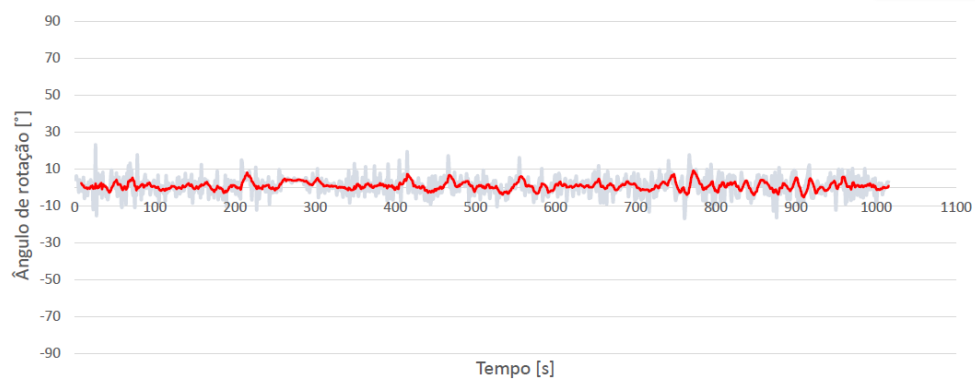


(a) Ângulo de rotação segundo X

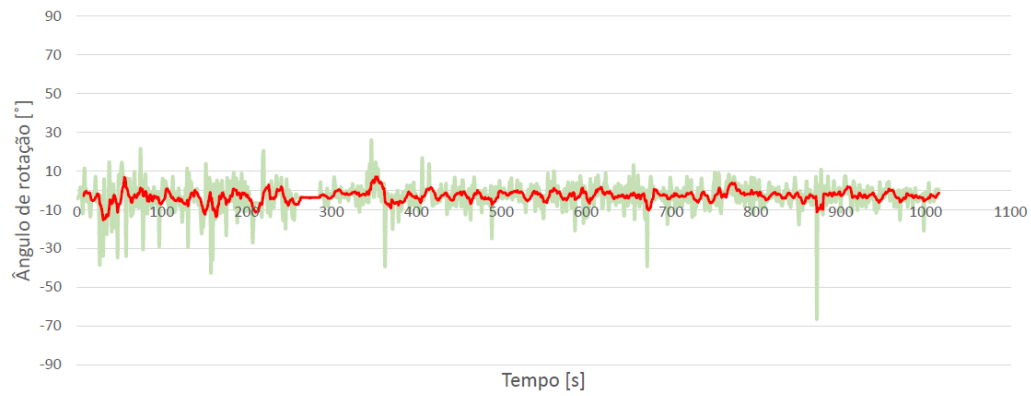


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.74: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso C (Teste 2)



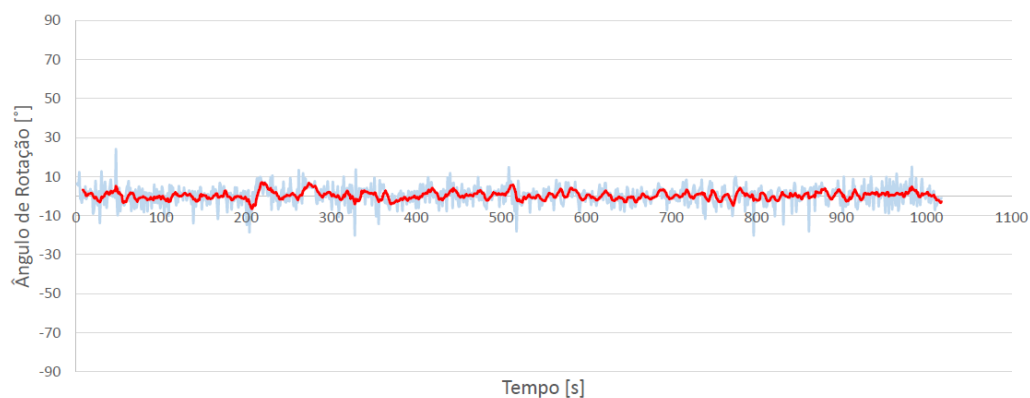
(a) Ângulo de rotação segundo X



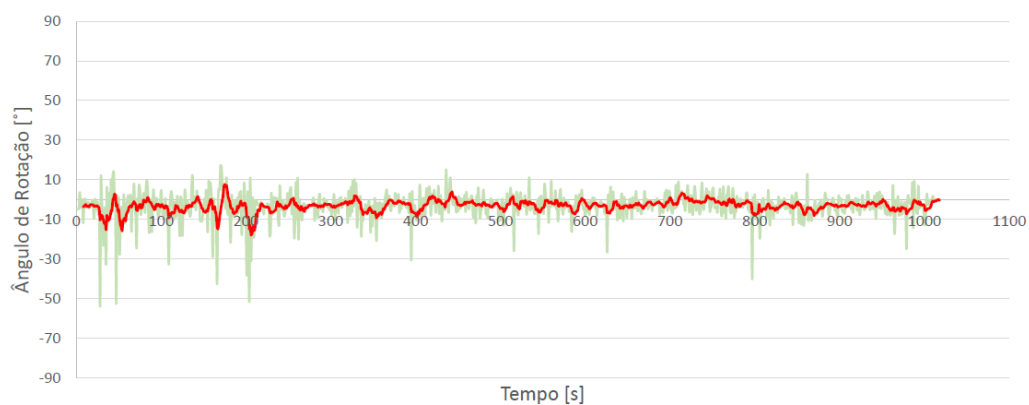
(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.75: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso C (Teste 3)



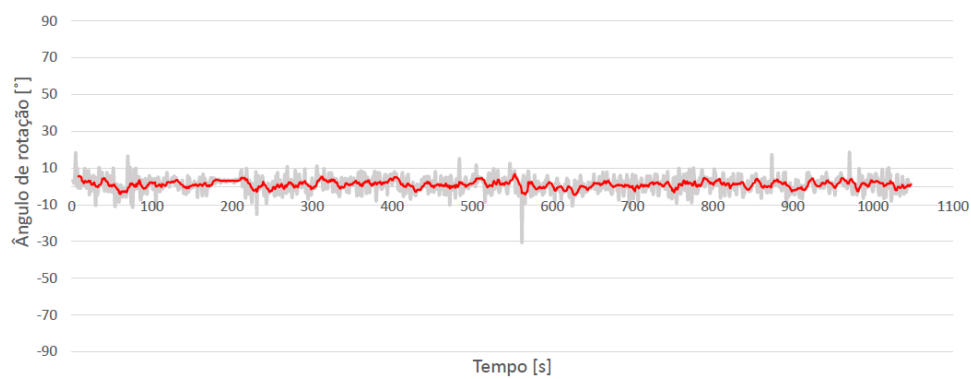


(a) Ângulo de rotação segundo X

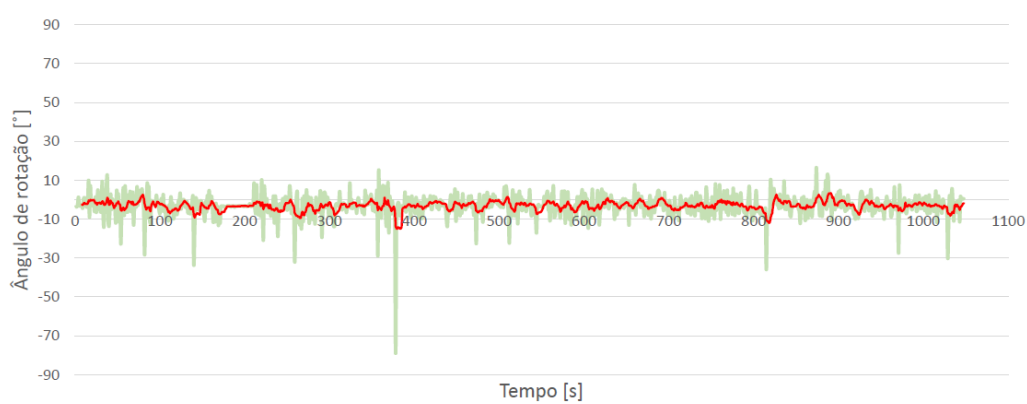


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.76: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso C (Teste 4)

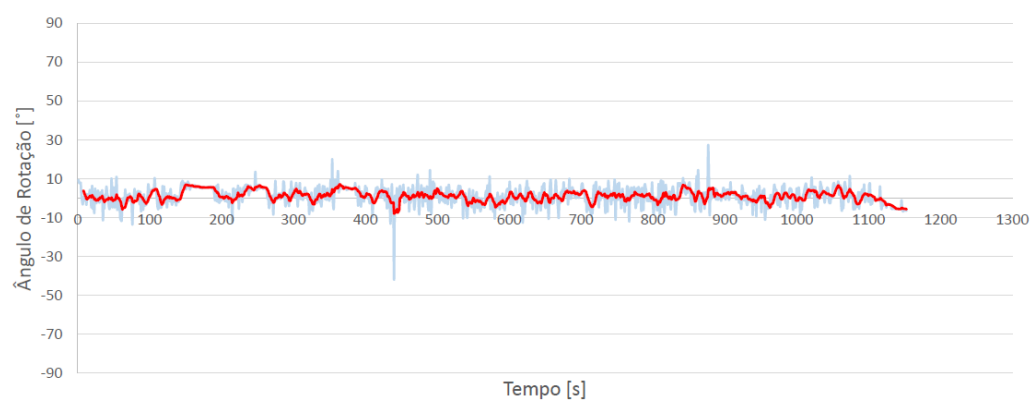


(a) Ângulo de rotação segundo X

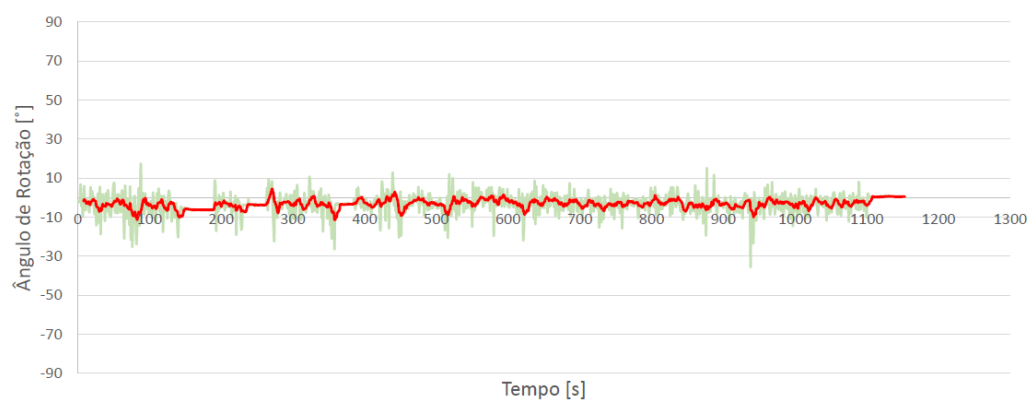


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.77: Perfil de Ângulo de rotação - Percorso C (Teste 5)



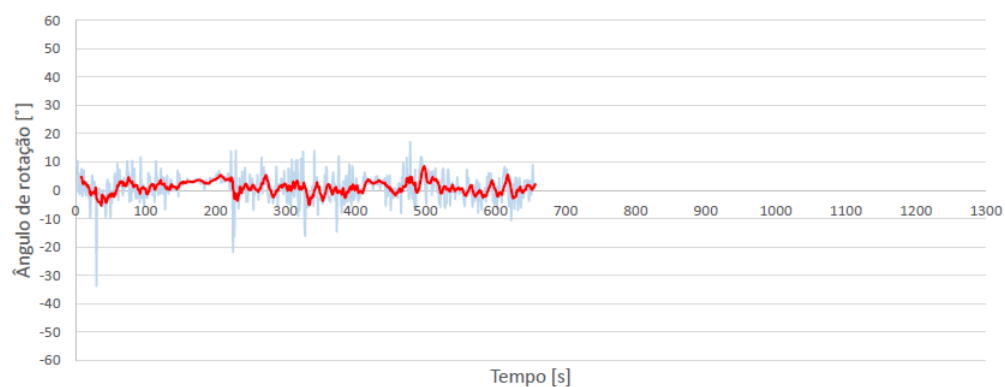
(a) Ângulo de rotação segundo X



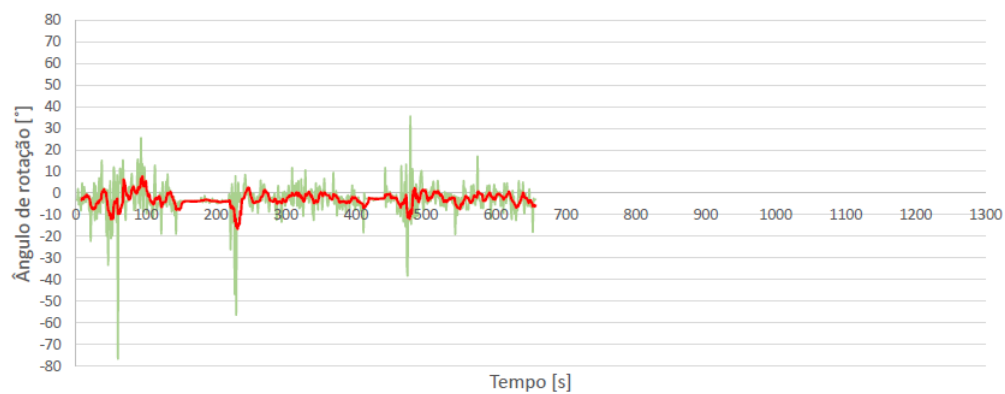
(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.78: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso C (Teste 6)

## Perfil de Ângulo de Rotação - Segundas monitorizações Percurso A

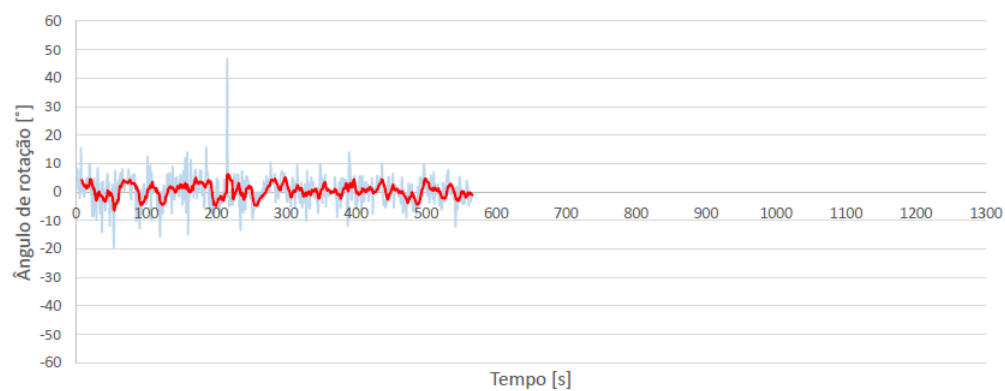


(a) Ângulo de rotação segundo X

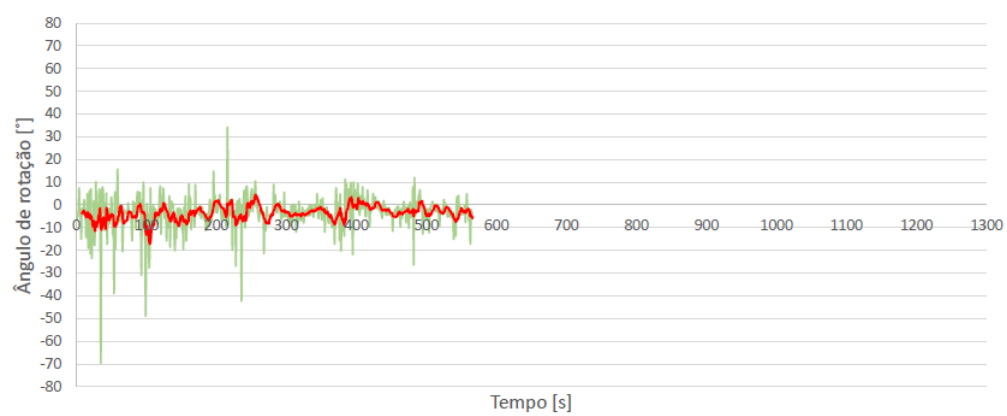


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.79: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso A (Teste 1)

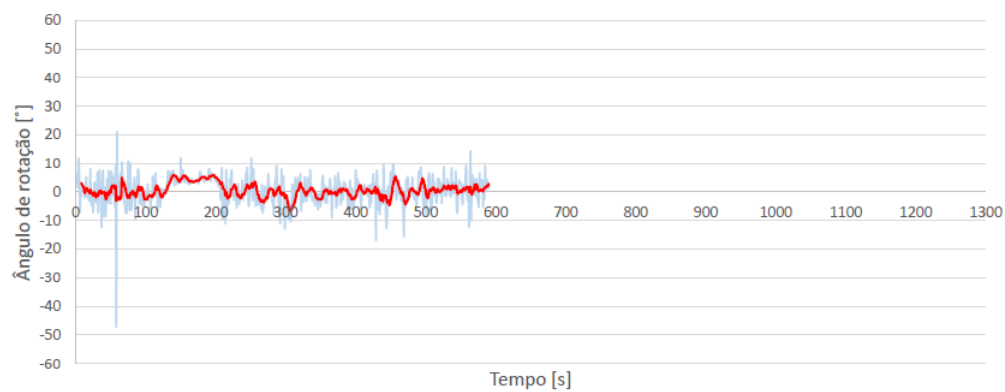


(a) Ângulo de rotação segundo X

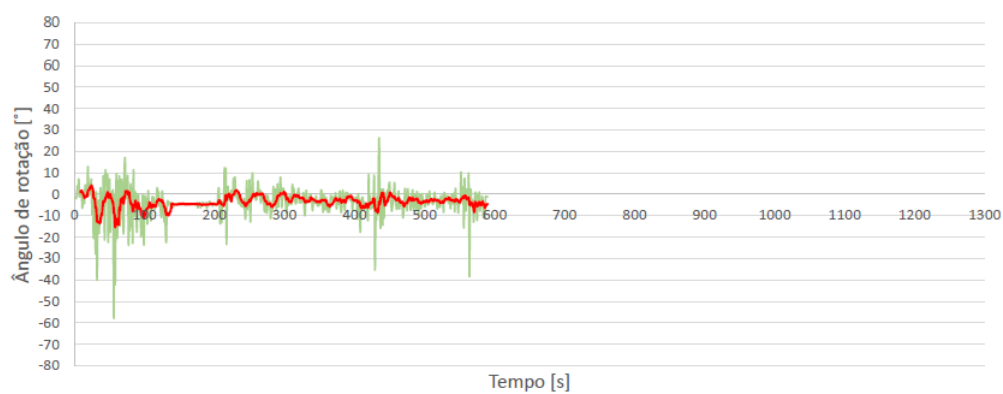


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.80: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso A (Teste 2)

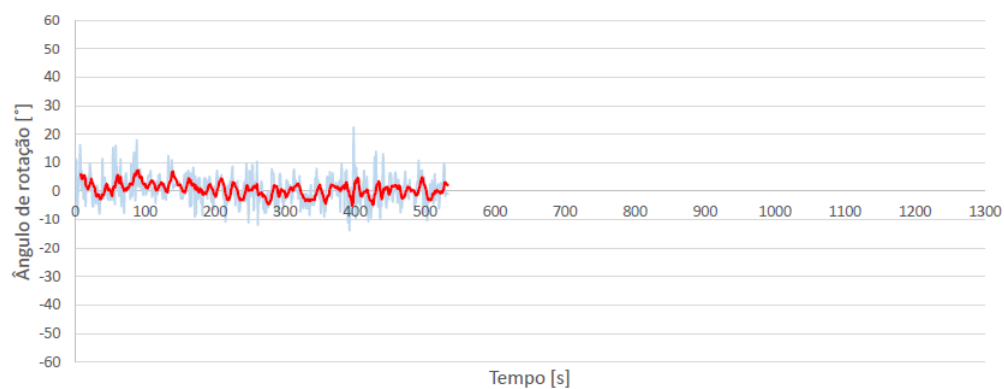
**Percurso B**

(a) Ângulo de rotação segundo X

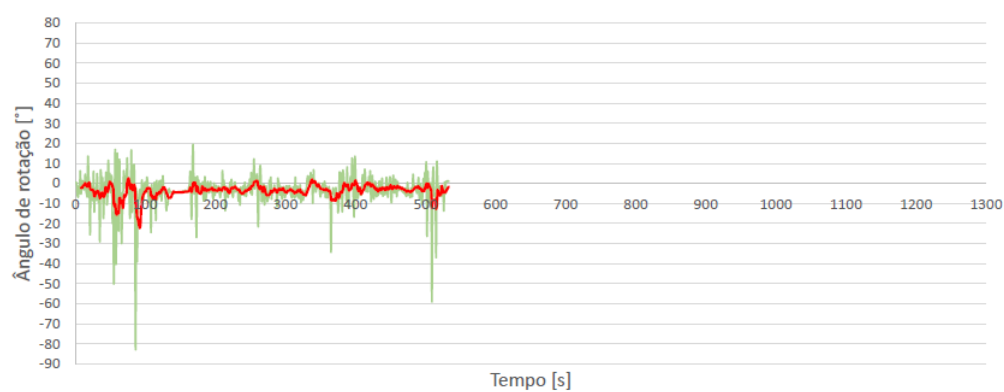


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.81: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso B (Teste 2)

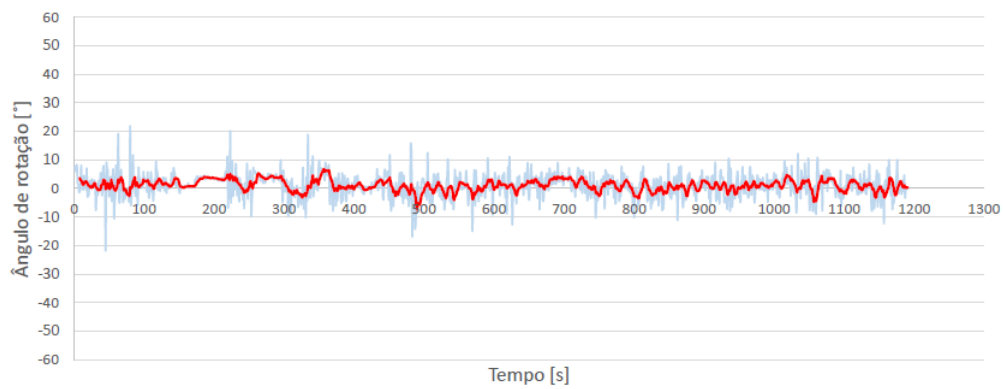


(a) Ângulo de rotação segundo X

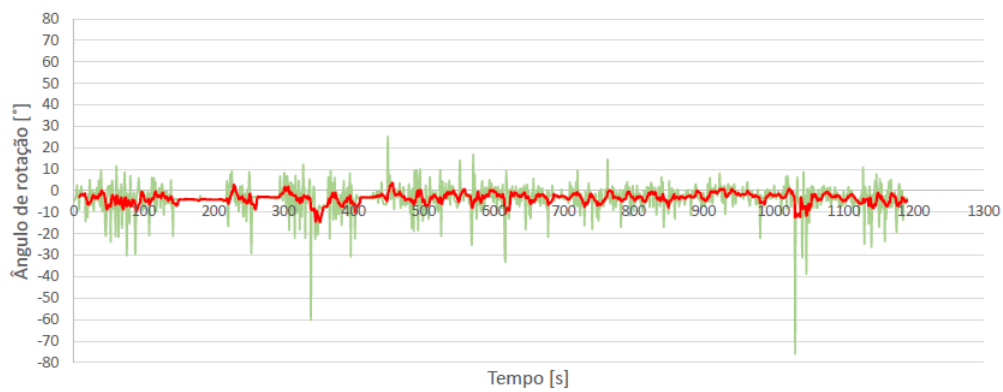


(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.82: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso B (Teste 3)

**Percurso C**

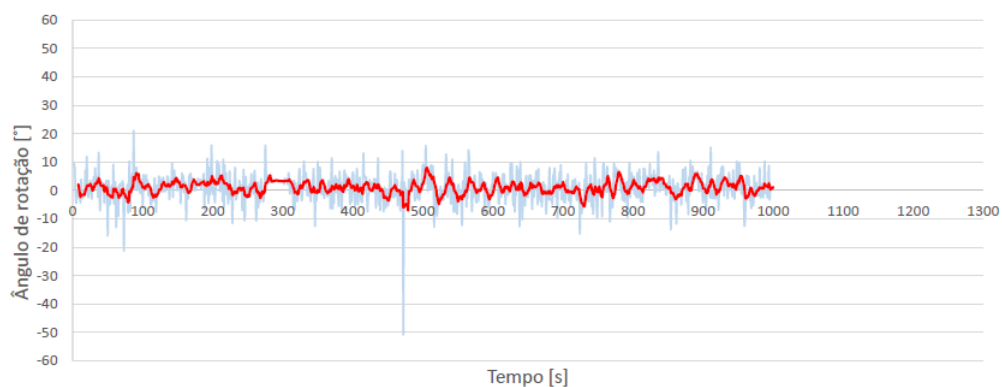
(a) Ângulo de rotação segundo X



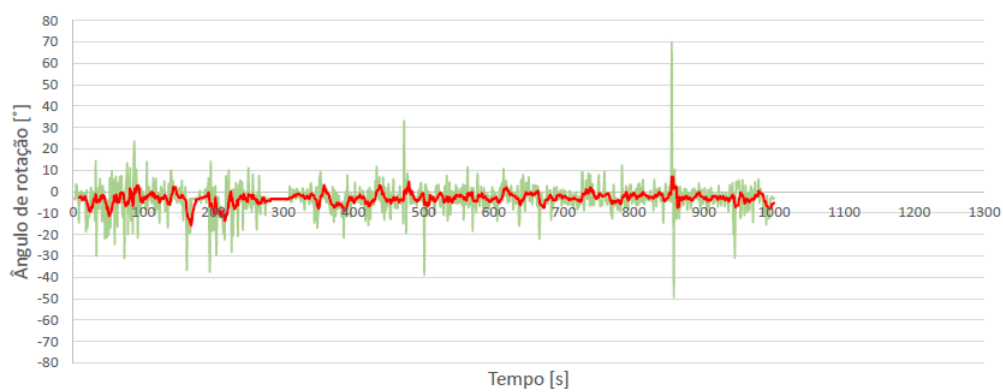
(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.83: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso C (Teste 1)





(a) Ângulo de rotação segundo X



(b) Ângulo de rotação segundo Y

Figura A.84: Perfil de Ângulo de rotação - Percurso C (Teste 2)